

6 | 55^e jaargang

NATUUR '87 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



SPOORELEMENTEN/WEDIJVER EN SAMENWERKING/DE PRINCIPIA/
BODO EN WT15000/ANALYTISCHE FYSICA/PAPIER



Technische Universiteit Eindhoven

De faculteit Technische Natuurkunde vraagt:

HTS-ingenieur fysisch/ chemisch/materiaalkundig *

t.b.v. de vakgroep Vaste Stof

(V6974)

De Technische Universiteit verzorgt wetenschappelijk onderwijs, onderzoek en maatschappelijke dienstverlening in een industriële en produktgerichte context.

Bijna 7000 studenten volgen het onderwijs in een van de studierichtingen Bedrijfskunde, Biomedische en Gezondheidstechniek, Bouwkunde, Elektrotechniek, Informatica, Informatietechniek, Scheikundige Technologie, Techniek en Maatschappij, Technische Natuurkunde, Werktuigbouwkunde en Wiskunde.

Het totale jaarbudget bedraagt f 200 mln. Bij de TUE werken ongeveer 2500 personeelsleden.

*** m/v**

Met het oog op het streven naar opbouw van een evenwichtiger personeelsbestand worden vrouwen nadrukkelijk uitgenodigd te solliciteren.

Deze medewerk(st)er zal geplaatst worden bij de groep "Coöperatieve Verschijnselen". Het onderzoekprogramma van deze groep is gericht op de bestudering van collectieve verschijnselen in de vaste stof, zoals magnetisme en supergeleiding. Hieronder vallen zowel een-dimensionale systemen, dunne (multi)lagen, magnetische legeringen, keramische materialen alsmede hoge temperatuur supergeleiders. Bij de bestudering wordt gebruik gemaakt van spectroscopische technieken, transportmetingen, calorische meetmethoden en verstrooiingstechnieken, veelal bij lage temperatuur en in hoge magneetvelden. Preparatieve technieken zoals ultra hoog vacuümdepositie, sinteren en kristalgroeiethoden spelen een belangrijke rol.

Taak:

- Synthese van materialen, eenkristallen en dunne lagen volgens diverse preparatieve methoden.
- Het in samenspraak met de aanwezige technici bedrijfsgereed houden en beproeven van en het experimenteren met de aanwezige meetapparatuur.
- Het instrueren en assisteren van studenten en promovendi en het adviseren en assisteren van medewerkers bij het gebruik van apparatuur.

Gevraagd:

HTS-diploma natuurkunde, fysische techniek of gelijkwaardig.

Aanstelling:

Zal geschieden voor een proeftijd van maximaal 2 jaar met uitzicht op vast dienstverband.

Salaris:

Afhankelijk van ervaring tot maximaal f 4.705,— bruto per maand.

Inlichtingen betreffende de functie:

Prof. dr. ir. W. J. M. de Jonge, telefoon 040-474260.
Overige informatie: DPZ. J. P. Le Gros, personeelsadviseur, telefoon 040-474329.

Sollicitaties binnen 14 dagen te richten aan de beheerder van de Faculteit Technische Natuurkunde, Technische Universiteit Eindhoven, Postbus 513, 5600 MB Eindhoven, onder vermelding van het vacaturenummer.

NATUUR '87 & TECHNIEK

Losse nummers:
f 9,25 of 175 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



Bij de omslag

Een oerang-oetanmoeder met kind laat haar tanden zien. Geen mens of dier die dat niet als dreigement zal opvatten. Agressie speelt een belangrijke rol in het gedrag van een groot aantal dieren. Hoe agressie zich echter verhoudt tot meer vreedzame gedragingen, leest u op pag. 454 e.v.

(Foto: Drs C.L. Schürmann, Berkel en Rodenrijs)

Hoofdredacteur: Th.J.M. Martens.

Adj. hoofdredacteur: Dr G.M.N. Verschuuren.

Redactie: Drs H.E.A. Dassen, Drs W.G.M. Köhler, Drs T.J. Kortbeek.

Secretaris: R. van Eck.

Redactiesecretaresse: T. Habets-Older Juninck.

Redactiemedewerkers: A. de Kool, Drs J.C.J. Masschelein, Dr J. Willems.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir J.D. van der Baan, Dr P. Bentvelzen, Dr W. Bijleveld, Dr E. Dekker, Drs C. Floor, Dr L.A.M. v.d. Heijden, Ir F. Van Hulle, Dr F.P. Israel, Drs J.A. Jasperse, Dr D. De Keukeleire, Dr F.W. van Leeuwen, Ir T. Luyendijk, P. Mombaerts, Dr C.M.E. Otten, Ir A.K.S. Polderman, Dr J.F.M. Post, R.J. Querido, Dr A.F.J. v. Raan, Dr A.R. Ritsema, Dr M. Sluys, Dr J.H. Stel, J.A.B. Verduijn, Prof dr J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof dr W. J. van Doorenmaalen, Prof dr W. Fiers, Prof dr J. H. Oort, Prof dr ir A. Rörsch, Prof dr R. T. Van de Walle, Prof dr F. Van Noten.

De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur en Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Grafische vormgeving: H. Beurskens, W. Keulers-van den Heuvel, M. Verreijt, E. Vijgen.

Druk.: VALKENBURG OFFSET b.v., Echt (L.). Tel.: 04754-1223*.

Redactie en Administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Tel.: 043-254044*.

Voor België: Tervurenlaan 32, 1040-Brussel. Tel.: 00-3143254044.

EURO
ARTIKEL

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin NATUUR EN TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E TECNICA (I), TECHNOLOGY IRELAND (EI), PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR) en MUNDO SCIENTIFICO (E), met de steun van de Commissie van de Europese Gemeenschappen.



Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever en de auteur(s).

Een uitgave van

ISSN 0028-1093



Centrale uitgeverij en adviesbureau b.v.

INHOUD

AUTEURS	IV
HOOFDARTIKEL	441
Sociobiologie	

DE PRINCIPIA VAN NEWTON	442
--------------------------------	-----

Een einde en een begin

K. van Berkel

Aan het eind van de zeventiende eeuw komen in het werk van de Engelse natuuronderzoeker en wiskundige Isaac Newton vele tot op dat moment gescheiden ontwikkelingen in één grote synthese bij elkaar. In zijn in 1687 verschenen werk *Philosophiae naturalis principia mathematica* (Wiskundige grondbeginselen van de natuurfilosofie) bracht hij verschillende natuurkundige fenomenen onder één noemer. Het boek kan tegelijkertijd ook gezien worden als de ouverture van de tijd die erna zou komen. Voldoende reden om het verschijnen van dit boek dit jaar te herdenken.

WEDIJVER EN SAMENWERKING	454
---------------------------------	-----

Survival of the smartest

P.P.G. Bateson

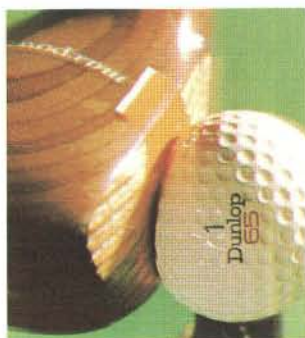
Concurrentie wordt door velen beschouwd als een natuurlijke eigenschap van mensen. Het is volgens hen een erfelijk kenmerk dat noodzakelijk is voor het voortbestaan van de soort. De rechtvaardiging van deze opvatting zoekt men in de evolutieleer van Darwin. De moderne biologie laat zien dat deze zienswijze onvolledig en dus onjuist is. Naast concurrentie en agressie is samenwerking, sociaal gedrag, een noodzakelijke voorwaarde voor het overleven van allerlei soorten, inclusief de mens. In dit artikel wordt deze zienswijze nader toegelicht.

PAPIER	462
---------------	-----

Van boomstam tot houtvrij

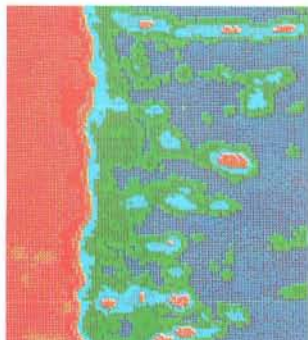
G.J.M. Goedvriend

Plantevezels zijn al tweeduizend jaar het basismateriaal voor de papierproductie. Toch heeft de papierfabricage de laatste tweehonderd jaar een grote technologische ontwikkeling doorgemaakt. Door toepassing van hulpstoffen en technische aanpassingen van de apparatuur is de kwaliteit van het papier aanzienlijk verbeterd en het productieproces versneld. De ontwikkeling gaat in hoog tempo verder. Er valt nog veel meer aan het wonderbaarlijke materiaal dat u momenteel in handen heeft, te ontdekken.



NATUUR '87 & TECHNIEK

juni/ 55^e jaargang/1987



ANALYTISCHE FYSICA

478

Het lokaliseren van elementen

S. Henstra en E.B.A. Bisdorf

De stormachtige ontwikkeling van de halfgeleiders is mede mogelijk geworden door zeer gevoelige apparatuur voor microchemische analyse. Deze zijn gebaseerd op de interactie van elektromagnetische straling, elektronen of ionen met de te onderzoeken stof, waardoor nieuwe straling wordt opgewekt die karakteristiek is voor de samenstelling van die stof. Enkele van deze technieken worden gebruikt in combinatie met een elektronenmicroscop. Ook de metallurgie, kunststofchemie, geologie, biologie en geneeskunde profiteren hiervan.



BODO EN WT 15 000

494

Nieuwe loten aan de evolutiestruik

F.L. Van Noten

In de zomer van 1986 maakten de media melding van spectaculaire vondsten in verband met het ontstaan van de mens. De berichten kwamen uit Afrika. De wetenschap van de menselijke paleontologie moet deze nieuwe ontdekking inpassen in het daardoor steeds wijzigende stramien dat de evolutie van de mens beschrijft. Wij geven hier een schets van wat stilaan tamelijk algemeen aanvaard wordt. Daarna geven we de nieuwe ontdekkingen een plaats in de 'boom van de evolutie', die trouwens steeds meer op een 'evolutiestruik' begint te lijken



SPOORELEMENTEN

506

Te is nooit goed

H.J.M. Robberecht, D. De Keukeleire en H.A. Deelstra

Een goede gezondheid hangt af van het functioneren van een uitermate complex, kunstig geprogrammeerd biochemisch mechanisme. Als daarin een schakel onvoldoende of niet functioneert, kan het menselijk gestel ontregeld reken. Dan word je onwel of zelfs ziek. Bij veel stoffen zijn heel minieme concentratieverschillen bepalend voor ziekte of welbevinden. Bij spooorelementen heeft een fractie van een gram teveel of te weinig al merkbare gevolgen

ANALYSE EN KATALYSE

516

De mens is geen rationele beslisser/De spin off van Star Wars/Priemgetallen als oorlogswapen

ACTUEEL/BEZIENSWAARDIG

528

FOTO VAN DE MAAND/PRIJSVRAAG

530

Prof dr K. van Berkel ('Newton') is op 24 juli 1953 in Nieuwer-Amstel geboren. Hij studeerde geschiedenis en filosofie aan de Rijksuniversiteit in Groningen. Van 1978 tot 1983 werkte hij aan het Instituut voor de Geschiedenis van de Natuurwetenschappen

van de Rijksuniversiteit Utrecht. Hij promoveerde in 1983 en trad dat jaar in dienst van de Open Universiteit, waar hij sinds vorig jaar hoogleraar cultuurgeschiedenis is.

Prof dr P.P.G. Bateson ('Samenwerking') is hoogleraar ethologie aan de Universiteit van Cambridge en hoofd van de afdeling diergedrag bij die universi-

teit. Hij houdt zich vooral bezig met onderzoek op het gebied van inprentingsmechanismen bij vogels en sociobiologische onderwerpen.

Ir G.J.M. Goedvriend ('Papier') is geboren in Nijmegen op 11 augustus 1949. Hij studeerde achtereenvolgens scheikunde aan de Katholieke Universiteit Nijmegen en milieuhygiëne aan de Landbouwuniversiteit in Wageningen. In diverse functies heeft

hij zich na zijn studie beziggehouden met de zuivering van afvalwater. Tegenwoordig werkt hij free lance, onder andere voor het Vezelinstituut van TNO.

Ing S. Henstra ('Microchemische analyse') werd in 1931 in Arnhem geboren. Hij studeerde elektrotechniek aan de HTS 'Amsterdam'. In 1954 trad hij in dienst van de Landbouw Hogeschool Wageningen. Thans is hij werkzaam bij de Technische en Fysische Dienst voor de Landbouw en houdt zich bezig met onderzoek naar de toepassingen van elektronenmicroscopie en microchemische analyse in het landbouwkundig onderzoek.

Dr E.B.A. Bisdorff ('Microchemische analyse') is geboren in Soengeigerong (Indonesië) in 1937. Hij studeerde geologie aan de Rijksuniversiteit Leiden, waar hij in 1957 promoveerde. Daarna werkte hij vier jaar als petroleumgeoloog in Canada. Sinds 1971 is hij als wetenschappelijk onderzoeker verbonden aan de Stichting voor Bodemkartering in Wageningen.

Prof dr F.L. Van Noten ('Hominiden') is op 28 april 1938 in Mechelen geboren. Hij studeerde Afrikaanse taalkunde en geschiedenis aan de Rijksuniversiteit Gent, waar hij in 1967 promoveerde. Momenteel is

hij hoofd van het departement culturele antropologie van het Koninklijk Museum voor Midden-Afrika in Tervuren en buitengewoon docent aan de Katholieke Universiteit Leuven.

Dr H.J.M. Robberecht ('Spoorelementen') is op 25 maart 1950 in Bornem geboren. Hij studeerde scheikunde aan de Katholieke Universiteit Leuven, waar hij in 1975 promoveerde. Sinds 1983 doceert hij aan

het Provinciaal Hoger Technisch Instituut voor Scheikunde in Antwerpen. Daarnaast houdt hij zich als vrijwillig assistent bij de Universitaire Instelling Antwerpen bezig met spoorelementanalyse.

Dr D. De Keukeleire ('Spoorelementen') is geboren in Beerlegem op 28 juli 1943. Hij studeerde wetenschappen aan de Rijksuniversiteit Gent, waar hij ook promoveerde. Thans is hij als onderzoeksleider bij het Nationaal Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek verbonden aan het Gentse laboratorium voor organische chemie, waar hij fotochemisch onderzoek verricht.

Prof dr H.A. Deelstra ('Spoorelementen') is geboren op 5 april 1938 in Genk. Hij studeerde scheikunde aan de Rijksuniversiteit Gent, waar hij in 1963 promoveerde. Daarna was hij gedurende negen jaar als hoogleraar aan diverse universiteiten in Centraal-Afrika verbonden. Sinds 1972 is hij hoogleraar bromatologie (voedings- en dieteer) aan de Universitaire Instelling Antwerpen.

SOCIOBIOLOGIE

De sociobiologie, de wetenschap die (dierlijk) gedrag wil verklaren op basis van genetica en evolutie, is niet populair. De meeste mensen vinden het nog wel min of meer aanvaardbaar wanneer de sociobiologen zich tot diergedrag beperken, maar wanneer in dit kader de mens als diersoort wordt gezien, gaat een aanzienlijk deel van de bevolking steigeren.

In de eerste plaats zal dat wel zijn omdat de opvatting dat ook menselijk gedrag kan, of zou moeten kunnen worden verklaard uit genetische factoren die een rol hebben gespeeld bij de evolutie, snel in botsing komt met het vrije en redelijk handelende individu dat de mens van deze tijd zo graag wil zijn. Maar er komt bij – en dat argument wordt vaak tegen de sociobiologen gebruikt – dat een dergelijke koppeling van gedrag en genetica meteen leidt tot de opvatting dat misdadigers als misdadigers worden geboren, om maar te zwijgen van het beeld dat er minderwaardige of tot het kwaad geneigde rassen zouden bestaan. En die opvatting heeft de mensheid al eens parten gespeeld op manieren die weinigen herhaald zouden willen zien. Ten slotte lijkt een evolutionaire verklaring voor menselijk gedrag geknipt om allerlei (wan)toestanden als natuurlijk en onontkoombaar te legitimeren.

Juist voor degenen die de sociobiologie zulke naar de gangbare maatschappelijke norm onfrisse doeleinden/consequenties in de schoenen schuiven moet het artikel van Patrick Bateson op p. 454 een verademing zijn. Hij trekt ten strijde tegen het aloude denkbeeld dat Darwins centrale these dat de evolutie werkt via 'survival of the fittest' moet worden begrepen als 'alle relaties zijn van nature concurrerend van aard', met als consequentie een soort natuurlijk of door de natuur gelegitimeerd recht van de sterkste.

In de eerste plaats is 'the fittest' niet noodzakelijk de sterkste of zelfs maar de fitste, maar degene die het beste aan de omstandigheden is aangepast: een goede schutkleur kan van meer belang zijn voor overleven dan kracht. In de tweede plaats gaat het bij de evolutie om het overleven van de soort, en dus maar indirect om dat van een individu. Er zijn soorten die het goed in hun niche volhouden doordat er individuen zijn – soms zelfs de sterkste! – die zich opofferen. Ten derde bestaat er in dit verband de mogelijkheid – er zijn nogal wat voorbeelden van, ook in het dierenrijk – dat juist het vermogen samen te werken, elkaar bij te staan of gezamenlijk een taak te verrichten maakt dat een soort zich in een ecologische niche kan handhaven. Ten slotte komt het voor dat meer een potentieel, een mogelijkheid tot iets, dan een altijd naar buiten tredende eigenschap genetisch is vastgelegd, bijvoorbeeld het potentieel samen te werken of op basis van rationele overwegingen te handelen.

Op die manier gezien is de sociobiologie weer maatschappelijk respectabel geworden, zij het ten koste van een eventuele pretentie (was die er eigenlijk ooit?) alle (menselijke) gedragingen op genetische gronden te verklaren. Het vak kan weer een niet a priori bepaalde plaats innemen in de discussie over de verhouding tussen cultuur en natuur, tussen gedrag (respons op stimuli) en handelen (weloverwogen iets doen of nalaten).

DE PRINCIPIA VAN

PHILOSOPHIÆ NATURALIS PRINCIPIA MATHEMATICA.

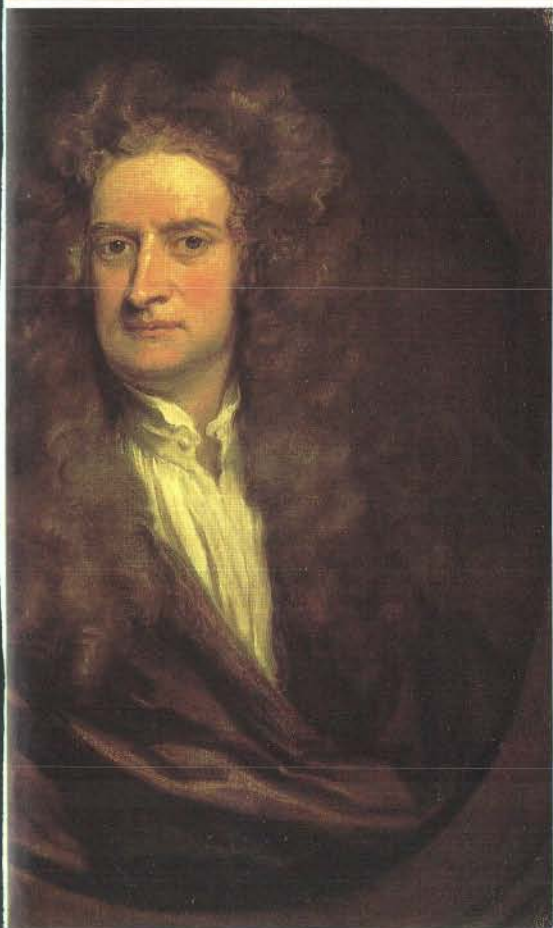
Autore *J. S. NEWTON*, *Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheseos*
Professore Lucasiano, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. P E P Y S, Reg. Soc. PRÆSES.
Julii 5. 1686.

L O N D I N I,
Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostat apud
plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.

SIR ISAAC NEWTON
Printed by
St. Geoffrey Kneller
1702

NEWTON



Een einde en een begin

Wie heel in het kort een schets wil geven van de historische ontwikkeling van de natuurkunde, ontkomt niet aan wat men zou kunnen noemen het 'vlinderdas-model' van de wetenschaps-geschiedenis. Aan het eind van de zeventiende eeuw komen in het werk van de Engelse natuuronderzoeker en wiskundige Isaac Newton vele tot op dat moment gescheiden ontwikkelingen in een grote synthese bij elkaar. Vanuit zijn werk waaieren de ontwikkelingen weer verschillende kanten uit. Dat in 1687 zijn *Philosophiae naturalis principia mathematica* (Wiskundige grondbegin-selen der natuurfilosofie) verscheen, wordt daarom dit jaar allerwege herdacht.

Isaac Newton en de titelpagina van de *Principia*. Newtons portret is geschilderd in 1704 door Sir Godfrey Kneller, een in die tijd befaamd portretschilder. Zoals uit het imprimatur op de titelpagina blijkt, werd het boek gedrukt op gezag van de Royal Society, het oudste wetenschappelijke genootschap van Europa, opgericht in 1662. Naar aanleiding van de constructie van een spiegeltelescoop was Newton in 1672 tot lid van het genootschap gekozen. In 1703 koos men hem tot voorzitter.

K. van Berkel
Open Universiteit
Heerlen

De Wetenschappelijke Revolutie voltooid

Geen boek uit de geschiedenis van de exacte wetenschappen is zo bekend geworden als de *Principia* van Newton. Het belang ervan kan op verschillende manieren geïllustreerd worden. Men kan het boek zien als de afsluiting of de voltooiing van de wetenschap van de periode die aan de *Principia* voorafging, en men kan het boek zien als juist de ouverture van een periode die nog moest volgen. Kiest men voor de eerste invalshoek, dan staat de inhoud van de *Principia* centraal; kiest men daarentegen voor de tweede invalshoek, dan ligt het accent meer op de methode.

Isaac Newton, die leefde van 1642 tot 1727 en die van 1669 tot 1701 hoogleraar in de wiskunde in Cambridge was, staat aan het einde van een periode in de geschiedenis van de natuurwetenschappen die wij de Wetenschappelijke Revolutie noemen. Men laat die Wetenschappelijke Revolutie wel eens beginnen met het verschijnen van Copernicus' *De Revolutionibus Orbium Coelestium* in 1543. De door Copernicus veroorzaakte omwenteling in het astronomisch wereldbeeld – de overgang van een wereld met de aarde in het centrum naar een wereld met de zon in het centrum – lijkt het meest in het oog springende aspect van die ontwikkeling. Toch kreeg de omwenteling in de astronomie pas haar beslag nadat er door 'fysici' als Galileï, Descartes en Newton een nieuw mechanisch fundament onder was geschoven en mede daarom is het redelijk juist in de geschiedenis van de mechanica de kern van

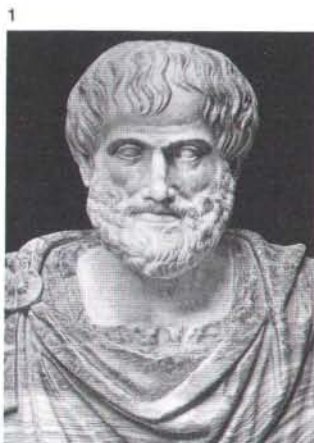
de Wetenschappelijke Revolutie te zien. De overgang van het oude naar het nieuwe denken over de natuur valt het scherpst waar te nemen in de ontwikkeling van de mechanica. De klassieke mechanica, zoals die in de leerboeken natuurkunde te vinden is, stoelt op dit nieuwe denken.

In de middeleeuwen vormden de geschriften van de Griekse wijsgeer Aristoteles het algemeen geaccepteerde uitgangspunt voor het denken over bewegingsverschijnselen. Een grondregel van de aristotelische mechanica was dat een constante beweging steeds een constante beweging vereiste. Dat verklaarde bijvoorbeeld waarom een kar tot stilstand kwam als er niet meer tegen geduwd of aan getrokken werd. Een klein probleem was echter hoe verklaard moest worden dat een pijl na het verlaten van de boog zich krachtig bleef voortbewegen en dat een weggeworpen steen niet onmiddellijk na het verlaten van de hand op de grond plofte. In de late middeleeuwen werden de gekunstelde oplossingen van Aristoteles en zijn commentatoren voor dit probleem vervangen door speculaties over een *impetus*, een inwendig bewegend vermogen dat door de boog of de hand aan de pijl of de steen zou worden meegedeeld. De twijfel aan de houdbaarheid van de aristotelische mechanica groeide, maar deze leidde nog niet tot een doorbraak.

In de zestiende eeuw werd de draad van de kritiek op Aristoteles weer opgepakt door Italiaanse wiskundigen en ingenieurs en één van hen, Galileo Galileï, boekte in zijn werk enkele belangrijke resultaten. Zo kunnen wij in ver-

1. Aristoteles (384-322 v. Chr.). Zijn geschriften vormden de basis voor het middeleeuwse denken over beweging. Voor een constante beweging zou een constante beweging nodig zijn; een kar waaraan niet getrokken wordt, staat stil.

2. Nicolaus Copernicus (1473-1543) poneerde als eerste de stelling dat de zon stilstaat in het midden van het heelal en dat de aarde en de andere planeten er in cirkelvormige banen omheen draaien.





3. Galileo Galilei (1564-1642) kan worden beschouwd als de centrale figuur in de overgang van de middeleeuwse naar de klassieke natuurwetenschap. Hij was de eerste die een kijker op de hemel richtte en daarover publiceerde. Op grond van zijn studie van de planeten, hij ontdekte onder andere de manen van Jupiter, werd hij een aanhanger van het heliocentrische wereldbeeld van Copernicus. Dit bracht hem in conflict met het Vaticaan, dat hem dwong van deze dwaling terug te keren.

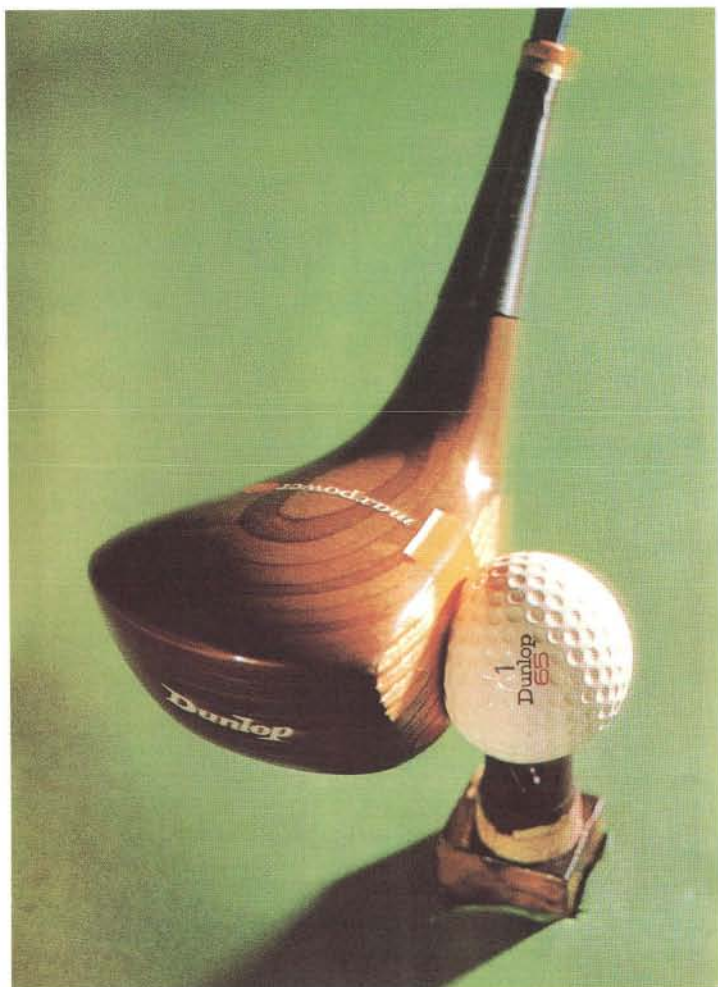
3

sluierde vorm bij Galileï iets aantreffen dat sterke gelijkenis vertoont met een traagheidsbeginsel. Ten noorden van de Alpen waren de Fransman René Descartes en de Nederlander Isaac Beekman met soortgelijke onderzoekingen bezig. Onafhankelijk van Galileï kwamen zij in 1618 tot de formulering van de valwet, waarbij een duidelijk uitgesproken traagheidsbeginsel één van de uitgangspunten van de redenering vormde. In het werk van de Nederlander Christiaan Huygens werden de inzichten van zowel Galileï als Descartes op creatieve wijze aangewend voor de oplossing van specifieke mechanische problemen, zoals bijvoorbeeld de slingerbeweging.

Met het noemen van het werk van Galileï, Descartes en Huygens zijn maar enkele van de meer belangrijke bijdragen aan de ontwikkeling van de mechanica vermeld. Aan het eind van de zeventiende eeuw was er op dat terrein een hier en daar chaotische situatie ontstaan. Eén en hetzelfde woord kon soms zeer verschillende betekenissen hebben. Het woord 'kracht' duidde bijvoorbeeld zowel de oorzaak als het effect van een beweging aan. Newton was degene die in deze wanorde voor het eerst enige orde bracht.

In het inleidende hoofdstuk van zijn *Principia* formuleerde hij enkele axioma's of *Leges Motus*, evidente of althans aannemelijke stel-

4. Een golfclub raakt een golfbal die vervolgens vele meters wegvliegt. De aristotelische mechanica zou wel kunnen verklaren waarom de bal in beweging komt als die in contact is met de club, maar niet waarom die beweging blijft bestaan als de bal een eindje op weg is. Immers, een constante 'bewe-ger' ontbreekt. Dit probleem werd uiteindelijk grotendeels opgelost in de klassieke mechanica, waarvan Newtons werk de grote synthese is.



4

lingen die konden dienen als uitgangspunten voor de logische opbouw van de mechanica. Die axioma's liet hij nog voorafgaan door enkele definities waarin hij de betekenis van de cruciale termen in de axioma's vastlegde. Nadat hij zo de mechanica geaxiomatiseerd had, kon hij in de drie hoofdafdelingen van de *Principia* de opbouw van de mechanica en haar toepassing op onderdelen van de fysica ter hand nemen. Boek I van de *Principia* handelt over de mechanica als zodanig, Boek II bespreekt de beweging van lichamen in een weerstandbiedend medium en Boek III past de wetten van de mechanica toe op het wereldsysteem.

Onvoltooide synthese

Zojuist werd gesteld dat Newton voor het eerst 'enige' orde schiep in de onoverzichtelijk geworden mechanica van de zeventiende eeuw. Die beperking moet wel gemaakt worden, want de systematiek van Newton liet hier en daar nog wel te wensen over. Het geduldwerk om een werkelijk sluitend systeem op te zetten liet hij over aan zijn achttiende-eeuwse epigonen en wat gewoonlijk de 'Newtoniaanse mechanica' heet is dus pas een produkt van de achttiende eeuw. Er was ter verduidelijking en systematisering van Newtons inzichten overigens nog zoveel te doen dat de mechanica in de

achttiende eeuw allerm minst een oninteressant vakgebied werd. Bovendien kwamen er toen ook wel nieuwe problemen aan de orde.

Een voorbeeld van Newtons onzorgvuldigheid levert het eerste van de drie axioma's. Dat axioma luidt:

"Ieder lichaam volhardt in zijn toestand van rust of eenparige rechtlijnige beweging, behalve voor zover het door de werking van krachten gedwongen wordt die toestand te wijzigen".

Het merkwaardige is dat ditzelfde eigenlijk al gezegd was in één van Newtons definities, namelijk Definitie III:

"In de materie zetelt een kracht met een vermogen weerstand te bieden, ten gevolge waarvan ieder lichaam voor zover het van dit lichaam zelf afhangt, volhardt in zijn toestand van rust of eenparige rechtlijnige beweging". Toch had in deze definitie alleen maar de betekenis van termen uit de axioma's mogen voorkomen; nu wordt er in de definities al iets gezegd wat in de axioma's thuishoort.

Het merkwaardige van de definitie is ook dat Newton niet de opvatting van traagheid

formuleert die later gangbaar is geworden, namelijk dat het voortduren van een eenparige, rechtlijnige beweging van een lichaam waarop geen krachten worden uitgeoefend, *geen oorzaak* behoeft. Newton geeft in dit geval eigenlijk nog de aristotelische opvatting weer: een voortdurende beweging vereist ook een voortdurende werking van een beweger, in dit geval de traagheidskracht, de *vis inertiae*. Newtons *vis inertiae* komt vrijwel overeen met de laatmiddeleeuwse *impetus*, hetgeen ons ervoor waarschuwt Newton niet moderner te maken dan hij in feite was. In theorie en taalgebruik was er nog veel dat thuishoorde in een tijd die hij eigenlijk achter zich had gelaten.

Dat er een verschil is tussen het beeld dat de schoolboekjes presenteren en de werkelijke inhoud van de *Principia* wordt eveneens geïllustreerd door het feit dat de befaamde formule $F = ma$, die een evenredigheid uitspreekt tussen kracht en versnelling, niet in de *Principia* voorkomt, ook niet in een eigentijdse vorm. Men heeft sommige definities en axioma's wel als formuleringen van die wet gelezen, maar, zo schreef eens de wetenschaps-

5



5. Newtons geboortehuis op het landgoed Woolthorpe in Lincolnshire. Newton heeft daar geen gelukkige jeugd gehad. Zijn vader stierf nog voor zijn geboorte. Zijn moeder hertrouwde en verhuisde naar een naburig dorp, terwijl de jonge Isaac op Woolthorpe achterbleef. Volgens sommige biografen was deze scheiding de oorzaak van Newtons latere naijver, onzekerheid en autoritair optreden. De regenboog op de foto is welhaast symbolisch als men bedenkt dat Newton al in 1672 de stelling verdedigde dat wit licht is opgebouwd uit de straling van de kleuren.

historicus E.J. Dijksterhuis, het is daarmee als met de kleren van de keizer in het bekende sprookje: iedereen zag die kleren omdat iedereen overtuigd was dat ze er waren, totdat een kind eenvoudig constateerde dat de keizer niets aanhad. De stelling dat een constante kracht een constante versnelling veroorzaakt (iets wat overigens niet gold voor de vis inertiae, maar dat was ook eerder een aristotelische notie), komt alleen impliciet in de *Principia* voor. Hooguit kan men zeggen dat de stelling voor Newton zo evident was, dat hij niet eens de moeite nam haar ergens expliciet te formuleren.

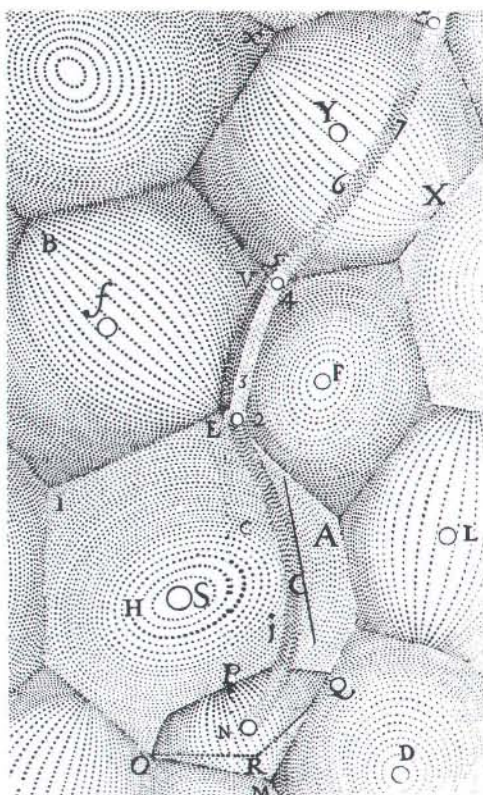
Algemene gravitatie

De definities en axioma's leverden Newton de bouwstenen voor de verdere systematische opbouw van de mechanica in Boek I van de *Principia*. Die mechanica is nog abstract: ze handelt over nog niet nader aangeduide lichamen die geen enkele weerstand van een medium ondervinden. Maar wel is al duidelijk waar Newton op afstevent. Uit de behandeling van bewegende punten over een ellipsbaan waarvan het brandpunt het krachtcentrum is dat de beweging veroorzaakt, blijkt dat Newton de wetten die de Duitse astronoom Johannes Kepler in 1609 uit zijn waarnemingen van de beweging van de planeten had afgeleid ingepast had in de mechanica.

Na Boek I verwacht men dan ook dat Newton over zal gaan op de expliciete toepassing van de mechanica op de astronomie. Maar voordat hij dat doet, wijdt hij nog een apart Boek aan de beweging van lichamen in een weerstandbiedend medium.

Dit uitstapje naar de hydrostatica en hydrodynamica achtte Newton nodig om te bewijzen dat het wereldsysteem dat Descartes een halve eeuw eerder had opgesteld en dat grote opgang had gemaakt, fysisch onmogelijk was. Descartes was er op metafysische gronden van overtuigd dat de wereld geheel gevuld is met materie en hij had geponeerd dat de wereldruimte vol is met zogenaamde wervels. Newton toonde echter onomstotelijk aan dat dit onmogelijk was. Toen hij dat gedaan had, achtte hij zich vrij om zijn eigen wereldsysteem te presenteren.

In Boek III proclameert Newton dan zijn algemene gravitatiewet, die luidt:



6

“Alle lichamen zijn begiftigd met een principe van wederkerige gravitatie. Twee lichamen trekken elkaar aan in rechte verhouding met hun massa's en in omgekeerde verhouding met het kwadraat van hun afstand.”

Met behulp van onder andere deze wet slaagt Newton erin de hemelse en aardse mechanica in één systeem onder te brengen. De vrije val van een steen op aarde bleek door dezelfde wetten geregeerd te worden als de beweging van de maan rond de aarde of die van de planeten rond de zon. Wetenschappen als de astronomie en de mechanica, die voorheen gescheiden ontwikkelingen hadden doorgeemaakt, waren nu op één noemer gebracht; verschijnselen die vroeger in verschillende afdelingen van de natuurwetenschap werden behandeld, zoals de wisseling der getijden en de loop der kometen, bleken nu op dezelfde wijze verklaard te kunnen worden. Newton bracht een unificatie tot stand op een schaal die sinds Aristoteles niet meer bereikt was.

PHYSICES ELEMENTA MATHEMATICARUM, EXPERIMENTIS CONFIRMATA.

Sive

Introductio ad Philosophiam NEWTONIANAM.

Auctore

GULIELMO JACOBO 's GRAVESANDE,

A. L. M. Jur. Viri. & Phil. Doctore, Regie Societ. Lond. Socio,
Astron. & Math. in Acad. Lugd. Bat. Professore ordinario.

TOMUS PRIMUS.

Editio Secunda, auctior & emendatior.



LUGDUNI BATAVORUM,

Apud PETRUM VANDER AAR,

Typographum Academiae atque Civitatis.

MDCCLXXV.

Cum Privilegio Praeceptor. Ordin. Hollandiae & West-Frisiae.

7

Kritische reacties

Vooral op het vasteland van Europa werd kritisch gereageerd op Newtons denkbeelden omtrent de gravitatie. Het genie dat in 1687 als ongekroonde koning van de Europese wetenschap werd beschouwd, Christiaan Huygens, verklaarde een begrip als gravitatie absurd te vinden. De wederzijdse attractie van twee stoffelijke lichamen, zeker als dat door de lege ruimte heen gebeurde, kon zijns inziens niet verklaard worden volgens de gangbare voorstellingen van de mechanica. In het heersende mechanistische wereldbeeld, waarin alle natuurverschijnselen teruggevoerd werden tot de beweging van stoffelijke lichamen die elkaar alleen door contactwerking (druk en stoot) beïnvloeden, was een dergelijke afstands-kraft inderdaad uitgesloten. Huygens' collega Leibniz beschouwde het invoeren van een dergelijk begrip zonder bijlevering van een mechanistische verklaring zelfs als een terugval in

6. De volle wereld van Descartes. Volgens Descartes was de hele wereldruimte met zeer ijle materie gevuld. Op deze plaat, ontleend aan zijn *Principia philosophiae* uit 1644, zijn enkele wervels in ons zonnestelsel weergegeven: om elk hemellichaam wervelt een stroom materie-deeltjes. Daar tussendoor is de baan van een komeet getekend (van 1 naar 7).

7. De titelpagina van J.W. 's Gravesande's *Wiskundige beginselen van de natuurkunde*, door experimenten bevestigd, of *Introductie tot de Newtoniaanse filosofie*. Toen 's Gravesande in 1717 hoogleraar in Leiden werd, begon hij op colleges de denkbeelden van Newton uiteen te zetten, toegelicht met proefnemingen. Zijn leerboek uit 1720 is het eerste bruikbare Newtoniaanse leerboek geweest en heeft in de vele edities die het kreeg veel voor de verbreiding van Newtons denkbeelden gedaan.

8. Christiaan Huygens (1629-1695) was één van de grootste natuurkundigen van zijn tijd. Hij hield zich bezig met de optica, astronomie en mechanica. Hij vond het slingeruurwerk uit. Hij had ernstige bezwaren tegen de mechanica zoals Newton die voorstelde.

8



aristotelische of magische categorieën, en daar had de mechanistische natuurwetenschap nu juist een eind aan gemaakt.

Zonder het te weten had Leibniz daarmee de spijker op de kop geslagen. Eén van de inspiratiebronnen van Newtons gravitatiebegrip is namelijk naar alle waarschijnlijkheid de alchemie geweest. Na 1665 had hij zich daar intensief mee beziggehouden. In tegenstelling tot het mechanistische denken kende de alchemie een voorstelling van de wereld waarin naast de materie ook ruimte was voor niet verder herleidbare 'krachten'. Tegenover de scherpe scheiding tussen geest en materie in de mechanistische filosofie stond de wezenlijke verbondenheid van beide in de alchemistische voorstellingswereld. Het waren daar de occulte krachten die de wezenlijke samenhang van de wereld voortbrachten. Newton was al spoedig na zijn kennismaking met het denken van Descartes tot het inzicht gekomen dat diens op uitsluitend materie en beweging gebaseerde natuurwetenschap ontoereikend was en door materialistische interpretaties zelfs tot atheïsme kon leiden. In de alchemie vond hij nu een aanvulling die het mechanistische denken zou kunnen behoeden voor het atheïsme. Zijn gravitatiebegrip is niet rechtstreeks aan één alchemistisch begrip ontleend, daar zijn althans geen aanwijzingen voor. Men moet het meer zo zien dat een wijze van denken die in de mechanistische natuurfilosofie taboe was, door Newton op versluierde en aangepaste wijze in de fysica is geïntroduceerd. Niet alleen de astronomie, de mechanica en de fysica komen in de *Principia* bij elkaar, zelfs de alchemie is er in opgenomen.

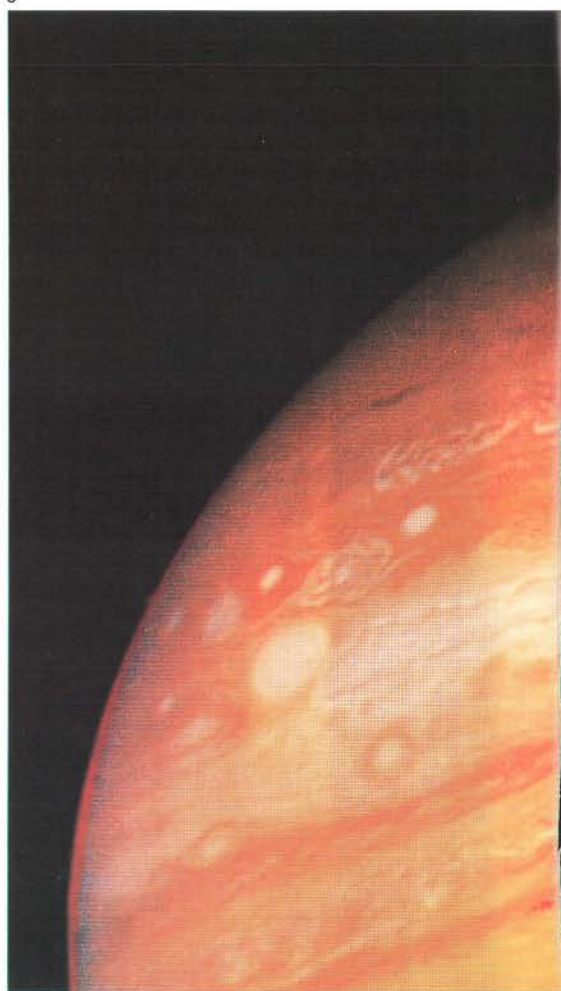
De empirisch-mathematische methode

Newton heeft zelf nooit uitgesproken dat zijn gravitatiebegrip mede aan al in zijn tijd tamelijk dubieuze bronnen was ontleend. In strikte zin hoefde hij dat ook niet te doen. Impliciet hanteerde Newton al het onderscheid tussen wat tegenwoordig de 'context of discovery' en de 'context of justification' heet. Net als hedendaagse filosofen die dit onderscheid hantieren, ging Newton ervan uit dat motieven en het feitelijke ontdekkingsproces niet relevant zijn voor het beoordelen van de wetenschappelijke geldigheid van een theorie of wet. Hij heeft zich bovendien steeds op het standpunt gesteld

dat men het begrip gravitatie kan invoeren als zuiver beschrijvende term. Uit de verschijnselen meende hij af te kunnen leiden dat er zoiets als gravitatie bestond, maar wat de aard van dat verschijnsel was, of wat er de verklaring van was, wist hij (nog) niet. Toch stond dat zijns inziens een vruchtbaar gebruik van de term in beschrijvende zin niet in de weg.

In de eerste editie van de *Principia* was dit nog niet met zoveel woorden gezegd, maar Newton achtte het met het oog op de kritische ontvangst van zijn gravitatiebegrip dienstig aan de tweede editie, die in 1713 verscheen, een 'Scholium generale' toe te voegen, waarin hij zijn standpunt over de methode van de na-

9

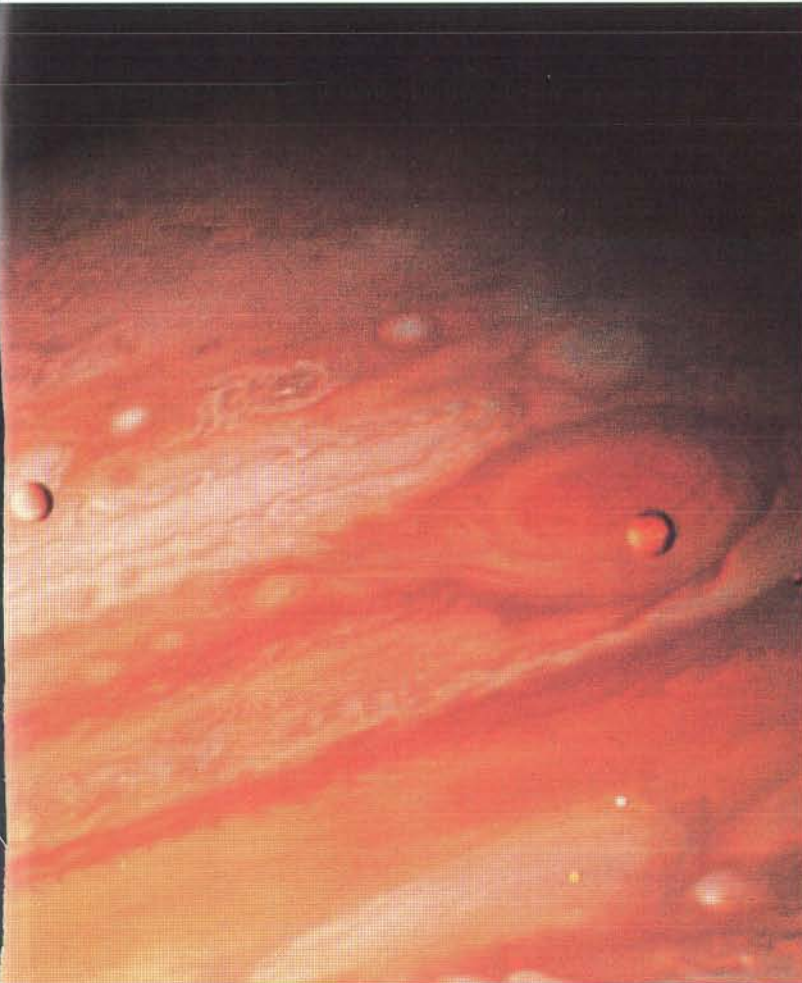


tuurwetenschap en de waarde van hypothesen uiteenzette.

Het is het eenvoudigst Newton zelf aan het woord te laten: "De oorzaken van de eigenschappen van de zwaarte heb ik nog niet uit de verschijnselen kunnen afleiden, en hypothesen verzin ik niet (*hypotheses non fingo*). Wat namelijk niet uit de verschijnselen wordt afgeleid, moet hypothese genoemd worden, en hypothesen, hetzij metafysische, hetzij fysische, hetzij die met occulte hoedanigheden werken, hetzij mechanische, horen in de Experimentele Filosofie niet thuis. In deze Filosofie worden proposities afgeleid uit verschijnselen en door inductie gegeneraliseerd (...). Het is vol-

doende dat de zwaarte werkelijk bestaat en werkt volgens de door ons uiteengezette wetten en toereikend is voor de bewegingen van de hemellichamen en van onze zee."

Dat Newton zelf allerm minst afkerig was van het verzinnen van hypothesen, over de aard van de zwaartekracht of over de aard van het licht, doet hier niet ter zake. Waar het op aan komt is dat Newton proclameert dat dat niet tot de taak van de natuuronderzoeker in strikte zin behoort. Mede op grond van theologische overwegingen was Newton ervan overtuigd dat het de mens niet gegeven is door te dringen tot het wezen der dingen en te verklaren waarom de wereld in elkaar zit zoals zij in



10



9. Jupiter met twee van zijn manen: Io (links) en Europa. Newtons algemene gravitatiewet: "Twee lichamen trekken elkaar aan in rechte verhouding met hun massa's en in omgekeerde verhouding met het kwadraat van hun afstand", verklaarde de banen van manen en planeten en het vallen van een appel uit een boom met behulp van hetzelfde principe.

10. De Britse postertijen herdenken Newton met een onlangs verschenen serie postzegels, waarvan dit er één is. De afgebeelde appel heeft betrekking op de anecdote dat Newton op het idee voor zijn algemene gravitatiewet kwam toen hij een appel uit een boom zag vallen.

elkaar zit. De natuuronderzoeker diende dan ook niet meer te willen dan het langs empirische weg vaststellen van de feiten en het langs mathematische weg afleiden van algemene conclusies uit die feiten.

Deze empirisch-mathematische methode, waarvan elementen ook bij Galileï te vinden zijn, maar die verder nooit zo scherp onder woorden was gebracht als in de *Principia*, verschilde radicaal van de methode en taakopvatting van de mechanistische natuurwetenschap van iemand als Descartes. Niet alleen meende deze dat het wel degelijk mogelijk was de ware aard van de werkelijkheid te achterhalen, ook was hij de overtuiging toegedaan dat niet de zintuigelijke waarneming, maar de verstandelijke deductie uit evidente waarheden de koninklijke weg tot de wetenschap vormde. Anderen gingen niet zo ver, maar namen wel aan dat een wetenschappelijke verklaring alleen acceptabel is als ze geheel doorzichtig is voor het menselijke begrips- en voorstellingsvermogen. De empirisch-mathematische methode stond dus haaks op wat er voordien over de methode van de wetenschap was gezegd.

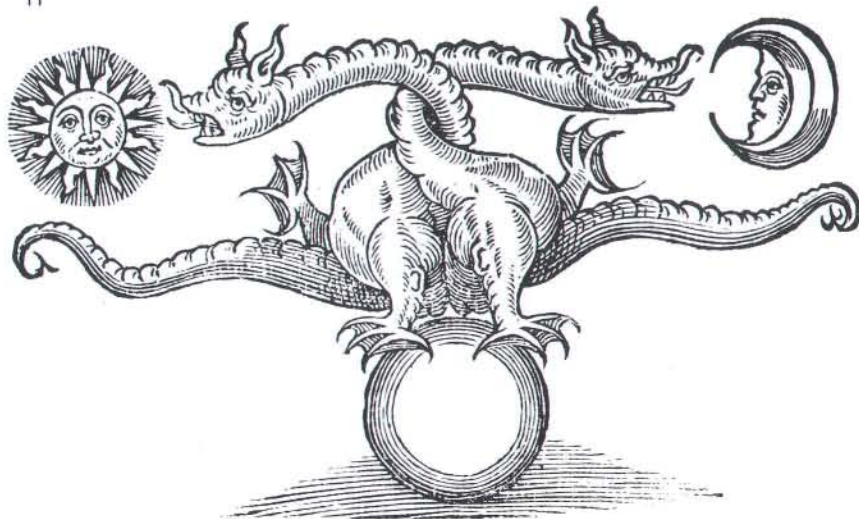
Newtons visie was echter de visie van de toekomst. In de achttiende eeuw genoot zijn methode een ongekennde populariteit. Voor veel pleitbezorgers van Newton was de combinatie van enerzijds de erkenning van de ondoorgrondelijkheid van de natuur en anderzijds de principiële fundering van de wetenschap in

mathematisch te bewerken zintuigelijke waarnemingen, zijn belangrijkste bijdrage aan de wetenschap. Toen de medicus Herman Boerhaave in 1715 Newton in Nederland voor een breed publiek introduceerde, legde hij daar de nadruk op. Ook zijn collega, de wiskundige Willem Jacob 's-Gravesande, die door zijn colleges en leerboeken als geen ander voor de verspreiding van Newtons denkbeelden in Europa heeft gezorgd, zag in de strikte afwijzing van ongefundeerde hypothesen en metafysische speculaties het merkteken van de newtoniaanse natuurwetenschap. Het 'hypothesen non fingo' kan men zelfs zien terugkeren in de strijd van de negentiende-eeuwse positivisten tegen de metafysica. Positivisten stellen immers dat wetenschap alleen gebaseerd kan zijn op empirisch vastgestelde feiten en niet op speculaties over diepere oorzaken. Er zou wat voor te zeggen zijn Newton op grond van zijn opvattingen over de methode van de natuurwetenschap de eerste positivist te noemen.

Besluit

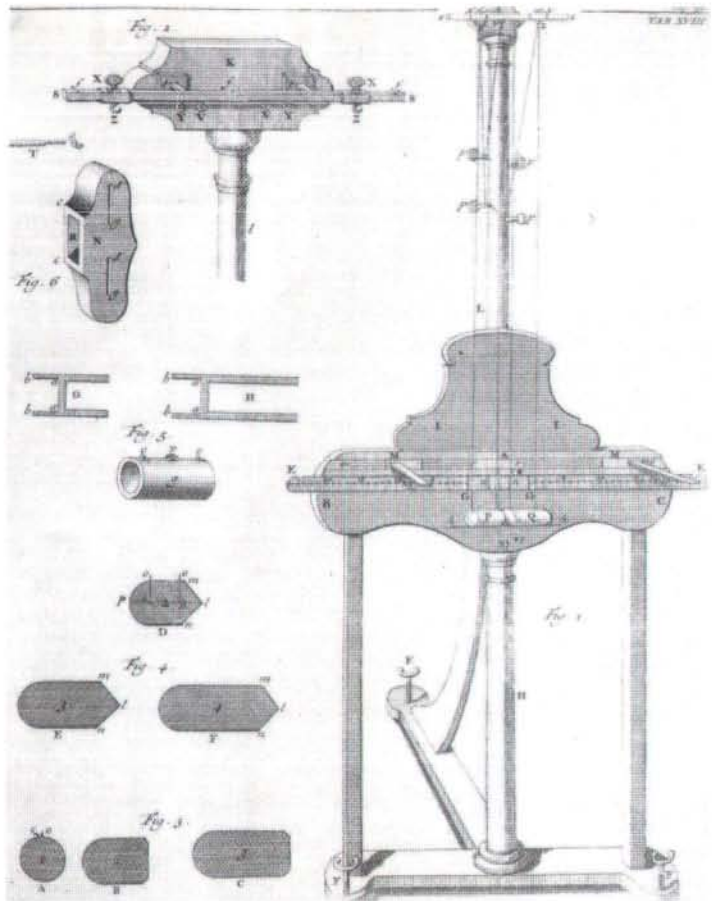
Overzien we een en ander, dan kunnen enkele nuances worden aangebracht in de uitgangsstelling dat Newton met zijn *Principia* zowel een voltooiing van een voorafgaande periode tot stand heeft gebracht als een opening heeft gemaakt naar een nieuwe periode. Er is al opgemerkt dat de voltooiing van de Weten-

11



11. Een afbeelding uit het alchemistische werk *Theatrum Chemicum Britannicum* van Elias Ashmole uit 1652. Afgebeeld is de transmutatie van aardse elementen – de aarde is de bol onderaan – in zilver (de maan) en goud (de zon). Newton hield zich grondig en systematisch met de alchemie bezig en het is bekend dat dit boek in zijn bezit was. Over Newtons contacten met alchemisten is weinig bekend. Alchemisten traden nooit als zodanig naar buiten en Newton hield zijn alchemistische relaties zorgvuldig gescheiden van zijn overige relaties. Een andere, pas in deze eeuw ontdekte passie van Newton was de bijbelse chronologie.

12. Een illustratie uit 's Gravesande's boek. Diens uiteenzetting van Newtons denkbeelden kenmerkt zich door het benadrukken van de aanschouwelijke demonstratie van de theorieën en wetmatigheden en door het relatief verwaarlozen van de wiskundige zijde van Newtons werk. Hierdoor kon het werk sneller doordringen onder het geletterde publiek. De afbeelding toont een instrument dat wordt gebruikt voor de demonstratie van de botsingswetten.



12

schappelijke Revolutie, door de axiomatisering van de mechanica en de vereniging van hemelse en aardse mechanica, niet volledig is geweest. Achttiende-eeuwse newtonianen moesten er de 'finishing touch' aan geven. Nu blijkt ook dat de voltooiing van de Wetenschappelijke Revolutie vooral een zaak is geweest van de eerste editie van de *Principia* en dat de opening naar een nieuwe tijd vooral werd geboden door de in de tweede editie expliciet toegelichte methode. Een deel van de betekenis van het boek openbaarde zich dus pas 25 jaar na het verschijnen van de eerste editie. Zoals elke herdenking vestigt ook de herdenking van de *Principia* onze aandacht erop dat men nooit één jaar of één gebeurtenis als het beslissende keerpunt in een bepaalde ontwikkeling kan aanmerken.

Bronvermelding illustraties

National Portrait Gallery, Londen: opening.
 Instituut voor de Geschiedenis van de Natuurwetenschappen, R.U. Utrecht: opening, 6, 7, 12.
 Dunlop Ltd., Londen: 4.
 Prof dr R. Bishop, Acadia University, Wolfville, Nova Scotia, Canada: 5.
 Jet Propulsion Laboratory, Pasadena: 9.
 Ann Ronan Picture Library, Taunton, Somerset: 11.

WEDIJVER EN SAMENWERKING



EURO
ARTIKEL

Tijdens een teamsport ontstaat een kortdurend sociaal verband, waarin de deelnemers door onderlinge samenwerking wedijveren met de tegenstander om het beoogde doel te realiseren. De wedijver is hier nodig om überhaupt te kunnen spelen, de samenwerking om te winnen.

Patrick Bateson
*Afdeling Diergedrag
Universiteit van Cambridge*



Survival of the smartest

Concurrentie wordt door velen beschouwd als een natuurlijke eigenschap van mensen. Het is volgens hen een erfelijk kenmerk dat noodzakelijk is voor het voortbestaan van de soort. De rechtvaardiging van deze opvatting zoekt men in de evolutieleer van

Darwin. De moderne biologie laat zien dat deze zienswijze onvolledig en dus onjuist is. Naast concurrentie en agressie is samenwerking, sociaal gedrag, een noodzakelijke voorwaarde voor het overleven van allerlei soorten, inclusief de mens.

Concurrentie wordt in onze westerse samenleving vaak gezien als één van de belangrijkste drijfveren van menselijke activiteit. Kunst en wetenschap, handel, sport en politiek komen volgens deze opvatting pas tot volle ontplooiing als mensen beter willen zijn dan anderen. Samenwerking wordt alleen gezocht als een individu daar duidelijk voordeel van heeft.

Deze visie lijkt in strijd met de praktijk van alle dag, waarin veel mensen het toch prettig vinden om met anderen samen te werken. Is dat samenwerkingsgedrag steeds te herleiden tot eigenbelang? Ik geloof het niet. Ik ben ervan overtuigd dat samenwerking voor het voortbestaan en welzijn van de mens van even groot belang is als de concurrentie, die aan de evolutietheorie van Darwin is ontleend.

In dit artikel zal ik proberen om aan te tonen dat concurrentie en samenwerking beide van belang zijn voor de evolutie. Bovendien wil ik aantonen dat men voor een juiste beoordeling van deze begrippen er niet van kan uitgaan dat evolutie plaatsvindt op het niveau van genen, de dragers van de erfelijke eigenschappen. De resultaten van die ontwikkeling zijn bovendien niet op de eerste plaats van belang voor het individu, maar meer voor de soort, voor de groep.

Misinterpretaties

De interpretatie van Darwins theorie die concurrentie beschrijft als een voor de overleving noodzakelijke eigenschap, is bovendien niet juist. Darwin heeft nooit gezegd dat concurrentie, in de zin van agressie ten aanzien van soortgenoten, de basis is van de evolutie. Zijn evolutietheorie verwijst naar wedijver in een veel ruimere betekenis; de 'strijd om het bestaan' hangt bij hem niet noodzakelijk samen met agressie jegens concurrenten, maar kan ook duiden op andere vormen van wedijver.

In dit verband wordt vaak het klassieke voorbeeld van twee Engelse motten voor het voetlicht gehaald. Op zwart geworden bomen in de buurt van fabrieken kunnen donker gekleurde motten minder gemakkelijk worden opgespoord door insektenetende vogels, dan lichtgekleurde soortgenoten. De zwarte motten hebben daardoor een grotere overlevingskans en krijgen meer nakomelingen, die ook weer een grotere overlevingskans hebben. De

zwarte en grijze vormen voeren de strijd om het bestaan op uiterst vreedzame wijze.

De onjuiste interpretatie van Darwins evolutietheorie is overigens niet van vandaag of gisteren. De befaamde bioloog Thomas Huxley was in 1888 de eerste die deze theorie verkeerd gebruikte. Hij schreef dat de civiliserende effecten van de opvoeding ontstaan doordat de zwakste en domste kinderen uiteindelijk het onderspit delven en de sterkste en slimste overleven. De 'struggle for life' op familie-niveau vormde de basis van veel ideeën over de evolutietheorie. Ze stond aan de wieg van een vele jaren durende verkeerde interpretatie.

Het artikel van Huxley werd niet door iedereen klakkeloos geaccepteerd. Naar aanleiding ervan formuleerde Peter Kropotkin in 1902 een andere visie. Hij signaleerde een fundamentele samenwerkingsbereidheid bij zowel dieren als mensen en schreef dat wederzijdse hulp in het dierenleven even fundamenteel is als concurrentie en agressie. Sterker nog, hij meende dat coöperatie voor de evolutie van groter belang is dan concurrentie, omdat wederzijdse hulp de ontwikkeling van gewoonten en eigenschappen bevordert die van belang zijn voor de verdere ontwikkeling en instandhouding van de soort. Bovendien levert sa-



1. De wederzijdse samenwerking tussen dieren van dezelfde soort kan verschillende vormen aannemen. Welbekend zijn vormen van verzorging, dieren die samen jagen of vissen, kuddes beschermen enzovoorts.

2. Makelaars op de effectenbeurs vormen een wat stereotype voorbeeld van de opvatting dat concurrentie zonder samenwerking tot succes leidt.



2

menwerking de grootst mogelijke welvaart en welzijn op voor het individu. Kortom, coöperatie is mogelijk belangrijker dan de veel genoemde concurrentie. Kropotkin was een bekende bioloog, maar zijn opvattingen hadden niet de uitstraling van die van Darwin. Veel biologen hadden bovendien moeite met zijn benadering omdat hij niet het individu, maar de groep centraal stelde. Kropotkin ging uit van groepsselectie en interpreteerde Darwin ook op die manier. De natuurlijke selectie was in zijn ogen geen kwestie van het overleven van een bepaald individu, maar van een groep organismen.

Egoïstische genen

Het verschijnsel groepsselectie wordt in de ecologie nogal eens geïllustreerd aan de hand van een groep herten op een eiland. Als die populatie ongeremd blijft groeien, zal er een situatie ontstaan waarin alle dieren te weinig voed-

sel kunnen vinden. Het is voor elk individu beter als zich binnen de groep een mechanisme ontwikkelt waardoor de voortplanting geringer wordt wanneer er een bepaalde kritische grens is overschreden, bijvoorbeeld voordat het voedsel opraakt.

Het bezwaar tegen deze gedachtengang is echter dat deze situatie gemakkelijk verstoord kan worden. Ze is niet stabiel. Als er namelijk één dier is dat door een mutatie deze regel doorbreekt, dan krijgt dat hert meer nakomelingen en wordt die gunstige eigenschap verdrongen. Het aantal 'frauderende' herten zou sterk toenemen en het samenwerkingsgedrag was dan gedoemd om uit te sterven.

Hoe kan deze instabiliteit van samenwerkingsgedrag op één lijn worden gebracht met de wederzijdse hulp die men in de natuur toch vaak ziet? Een verklaring hiervoor vinden we in het werk van Hamilton, die in 1964 het idee van een selectie op basis van verwantschap lanceerde.

Hij stimuleerde daarmee in sterke mate een nieuwe denkwijze over de evolutie. Volgens hem overleven in de 'strijd om het bestaan' niet individuele organismen, maar genen. Deze benadering werd later (in 1976) nog eens trefend verwoord door Dawkins, die het organisme beschouwde als een robot, die geprogrammeerd is om zijn *egoïstische genen* in stand te houden. Het egoïstische gen ligt aan de basis van verschillen tussen individuen die aan de natuurlijke selectie onderhevig zijn. Het gen is in deze visie de eenheid van natuurlijke selectie. Deze benaderingswijze doet denken aan de verkoop van koekjes, waarbij het recept van de lekkerste koekjes uit het assortiment van de winkel zou overleven, terwijl de koekjes zelf opgegeten worden. De gedachte dat de klanten van de winkel eigenlijk op basis van het recept, laat staan de combinatie van ingrediënten, het lekkerste koekje selecteren, ligt niet erg voor de hand.

Toen Darwin zijn evolutieleer lanceerde hield hij zich bezig met uiterlijke kenmerken, zoals de staartveren van duiven. Hij heeft zich waarschijnlijk nooit afgevraagd op welke manier die eigenschappen aan volgende generaties worden overgedragen en daardoor mogelijk erfelijke eigenschappen verward met aanpassingen aan de omgeving. Dat heeft in de discussie over zijn evolutietheorie ongetwijfeld verwarrend gewerkt. Het leidt bovendien de

aandacht af van de essentie: de wijze waarop de afzonderlijke genen samenwerken en evolueren.

Wanneer men de genen als uitgangsmateriaal van de evolutie neemt, ligt samenwerking voor de hand, want genen kunnen alleen functioneren in samenhang met andere genen. Het functioneren van organen, de groei en andere levensuitingen zijn alleen mogelijk dank zij de gezamenlijke actie van een groot aantal genen. Het voortbestaan van een bepaald gen is zelfs afhankelijk van de gehele groep genen en veel genen zullen alleen in een bepaalde combinatie kunnen gedijen. Dat verschijnsel noemt men *co-adaptatie*.

Wanneer bepaalde genen in de loop van de evolutie een combinatie hebben ontwikkeld die duurzaam is, zal de eigenschap van het organisme dat daarvan een uiting is, bijdragen aan het voortbestaan van die combinatie. De recombinitie van erfelijke eigenschappen wordt daardoor beperkt. Dat laatste heb ik tijdens eigen laboratoriumonderzoek kunnen vaststellen. Japanse kwartels bleken bij voorkeur te paren met soortgenoten die dezelfde veren hebben. Ze planten zich het liefst voort met verwanten, bijvoorbeeld volle neven of nichten. Het risico van inteelt werd kennelijk op de koop toe genomen omwille van het in stand houden van genencombinaties die in de familie voordelig waren gebleken.

3



3. Een groene meerkat vlooit een soortgenoot, een duidelijke vorm van samenwerking, waarvan het nut evident is: minder vlooien vergroot de kans op een goede gezondheid.

4



4, 5. Gevechten tussen dieren van dezelfde soort doen wel veel stof opwaaien en water opspatten, maar leiden slechts zelden tot ernstige verwondingen of de dood van de overwonnenen. Dat betekent niet dat zomaar voor niets gevochten wordt. Vaak is de toegang tot vrouwtjes de inzet van een gevecht tussen twee mannetjes. In feite vechten ze dan om het evolutionair belangrijke voortplantingssucces.



5



Samenwerking tussen individuen

Samenwerking ligt niet alleen op genniveau voor de hand, maar is ook op het niveau van individuen en groepen vanzelfsprekend. Bij alle zich sexueel voortplantende organismen is samenwerking tussen mannetjes en vrouwtjes onmisbaar. Zelfs de vrouwtjesspin die na de paring haar partner opeet, heeft een ogenblik met hem moeten samenwerken. In de natuur ziet men een groot aantal voorbeelden van duurzame samenwerking: dieren kruipen bij elkaar om warmte te behouden, helpen elkaar bij de jacht en verdedigen gezamenlijk de vrouwtjes. Een mannetjesbaviaan bijvoorbeeld die een ander helpt in de strijd om een vrouwtje, zal later op dezelfde manier door de ander worden geholpen.

Wrangham maakte in dit opzicht onder-

scheid tussen coöperatie met en zonder *interferentie*. In het eerste geval gaan de voordelen van de samenwerking ten koste van andere individuen van dezelfde soort. Mannetjesleeuwen werken samen om leeuwinnen tegen overname door andere mannetjes te beschermen. In het tweede geval helpen dieren elkaar zonder dat dit ten koste gaat van soortgenoten. Twee pelikanen kunnen samen meer vis vangen dan één alleen.

Dit soort samenwerkingsvormen heeft vaak een stabiel karakter en is niet gevoelig voor 'frauderende' soortgenoten, zoals in het voorbeeld van de herten op een eiland. Anders gezegd: samenwerking kan voordelig zijn voor alle individuen van een bepaalde soort. Wanneer een bepaalde eigenschap, die bestaat dank zij vormen van samenwerking, stabiel is geworden, zal – net als bij de stabiele gencombinaties – zich een mechanisme ontwikkelen dat het voortbestaan van die samenwerkingsvorm bevordert. Voorbeelden daarvan zijn signalen die duidelijk maken wat een bepaald dier gaat doen en het mechanisme dat een ander dier daar op een bepaalde manier op laat reageren. Het onderzoek van het diergedrag wordt daardoor overigens niet gemakkelijker, want de wijze waarop allerlei aanpassingen ontstaan is nogal onvoorspelbaar.

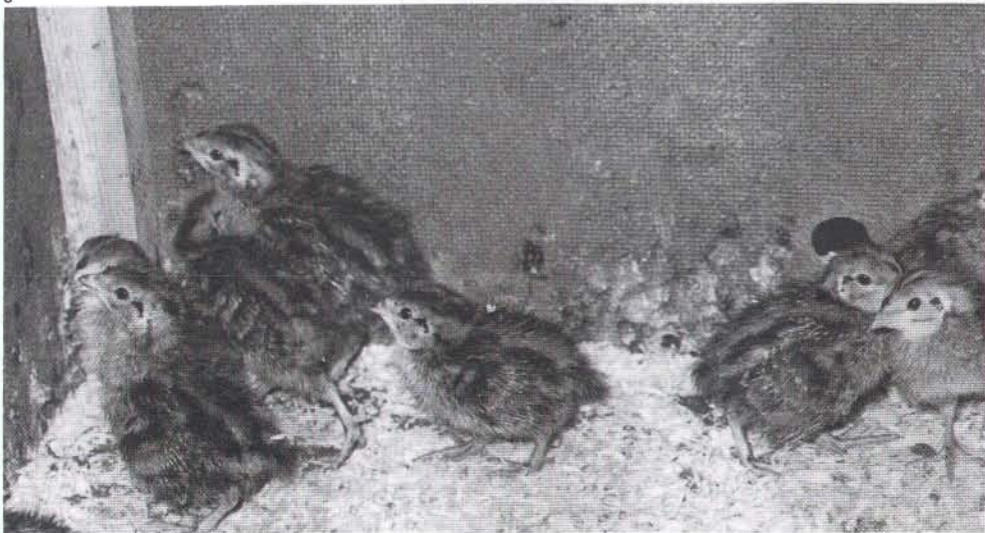
Een complicatie daarbij is het verschijnsel dat erfelijke eigenschappen niet altijd tot

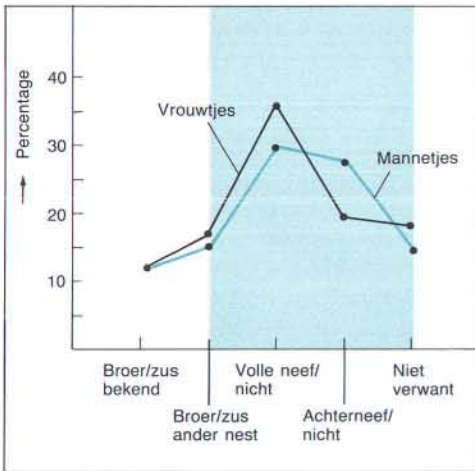
uiting komen in een bepaald gedrag. Gedrag kan daardoor niet altijd worden gezien als het resultaat van natuurlijke selectie. Genen beïnvloeden weliswaar de ontwikkeling van een individu, maar dat betekent nog niet dat alle erfelijke gedragseigenschappen altijd op dezelfde manier tot uiting komen.

Het overleven van een individu is vaak afhankelijk van aanpassingen aan de omgeving en aangezien die omgeving veranderlijk is, kan het noodzakelijk zijn dat de expressie van genen onder bepaalde omstandigheden achterwege blijft. Een klassiek voorbeeld daarvan zijn de groene sprinkhanen die op een zwartgeblakerde Afrikaanse vlakte zwart opgroeien. Door die donkere kleur zijn de insecten een minder gemakkelijke prooi voor vogels. Als hun nakomelingen weer in het gras opgroeien, onderdrukken ze het mechanisme dat de huid zwart maakt.

Ook deze aanpassing aan de omgeving is het resultaat van een evolutie en die is niet gestopt bij dit soort eenvoudige mechanismen. Door de ontwikkeling van het zenuwstelsel zijn steeds verfijnder systemen ontstaan waarmee men de omgeving via een leerproces af kan tasten. Het feit dat diergedrag afhankelijk is van externe omstandigheden betekent ook dat men de erfelijke eigenschappen van een soort niet zonder meer kan aflezen uit de verschijningsvorm.

6





7

6. Kuikens van Japanse kwartels die samen opgroeien, beschouwen elkaar als broers en zusters, ook al komen ze van verschillende ouders.

7. Wanneer men nagaat welke paringspartners Japanse kwartels prefereren, dan blijkt dat zij alleen paren met partners die dezelfde veren hebben. De figuur geeft de paringsfrequenties met verschillende soorten partners in een groep van 22 mannetjes en 13 vrouwjes. Voor een deel betrof het broers en zusters, die of in hetzelfde, of in een ander nest waren opgegroeid, voor een deel (achter)neven en (-)nichten uit andere nesten. Een aantal dieren was niet verwant. Duidelijk is dat deze vogels een voorkeur hebben voor volle neven of nichten. Dit wordt geïnterpreteerd als het in stand houden van bepaalde genencombinaties die in de familie voordelig zijn gebleken. De grijze balk geeft aan welke vogels in verschillende nesten opgroeiden.

Gevaar

De coöperatie op het niveau van genen en individuen maakt duidelijk dat de evolutietheorie van Darwin niet simpel vertaald wordt met de kreet: 'Het overleven van de sterkste'. Egoïsme en agressie zijn dus nooit het enige motief van menselijk handelen. Wanneer men het gedrag van mensen en dieren wil verklaren vanuit de evolutietheorie, zal er evenveel aandacht geschonken moeten worden aan vormen van coöperatie, aan samenwerking, aan wederzijdse hulp.

Competitie en coöperatie sluiten elkaar ook niet uit. Om dat te illustreren is het beeld van een orkest goed bruikbaar. Musici concurreren met elkaar om lid te mogen zijn van een bepaald orkest, maar als men eenmaal tot die groep behoort, zullen de musici intensief sa-

menwerken om goede muziek te maken. En door het maken van goede muziek kan het orkest weer beter concurreren met andere muziekgezelschappen.

Nogmaals, het is onjuist om de theorie van Darwin te gebruiken als argument om conflicten tussen individuen en groepen, bijvoorbeeld naties, te rechtvaardigen. Wanneer men dit soort conflicten daarmee verklaart, bestaat het gevaar dat ze in werkelijkheid ook gemakkelijker optreden. Het onderling vertrouwen – dat een noodzakelijke voorwaarde is voor een gezonde samenleving – zou daardoor verloren kunnen gaan. Dat geldt niet alleen binnen een bepaalde samenleving, maar ook tussen staten onderling.

Volgens de eenzijdige interpretatie van de evolutietheorie van Darwin is de enige manier om mensen uit een ander land tegemoet te treden, hen te overwinnen. Die opvatting leidt heden ten dage tot bewapeningswedlopen en uiteindelijk tot het gebruik van die wapens. De gebrekkige uitleg van Darwin is dus ook letterlijk gevaarlijk.

De vertaling van dit artikel is voor ons bewerkt door dr J. Willems van de Katholieke Universiteit Nijmegen.

Literatuur

- Bateson P. Behavioural development and evolutionary processes. In: King's College Sociobiology Group. Current Problems in Sociobiology. 1982; Cambridge: Cambridge University Press.
- Dawkins R. The Selfish Gene. 1976; Oxford: Oxford University Press.
- Hamilton WD. The genetical evolution of social behaviour. Journal of Theoretical Biology 1962; 7: 1-32.
- Wrangham RW. Mutualism, kinship and social evolution. In: King's College Sociobiology Group. Current Problems in Sociobiology. 1982; Cambridge: Cambridge University Press.
- British Museum. Het Ontstaan van Soorten. Maastricht: Natuur en Techniek, 1983.
- Rijksen HA. De bosmens. Maastricht, 1988.

Bronvermelding illustraties

- Davidson/Magnum, ABC-press Amsterdam: opening.
- Prof dr P. Bateson: 1, 6, 7.
- Amsterdamse effectenbeurs: 2.
- Bruce Coleman Ltd., Uxbridge: 3, 4, 5.

Plantevezels zijn al 2000 jaar het basismateriaal voor de papierproductie. Toch heeft de papierfabricage de laatste 200 jaar een grote technologische ontwikkeling doorgemaakt. Door toepassing van hulpstoffen en technische aanpassin-

gen van de apparatuur is de kwaliteit van het papier aanzienlijk verbeterd en het productieproces versneld. De ontwikkeling gaat in hoog tempo verder. Er valt nog veel meer aan het wonderbaarlijke papier te ontdekken.

Van boomstam tot houtvrij PAPIER

G.J.M. Goedvriend
Franeker



EURO
ARTIKEL

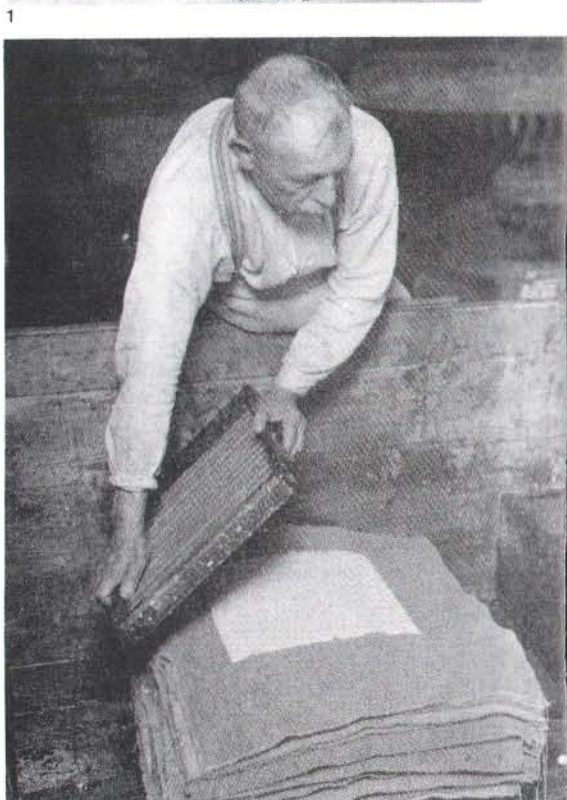


Tsai-ho-tche

Uit overleveringen blijkt dat het principe, waarop het maken van papier berust, al lang bekend is. In een legende uit het begin van de tweede eeuw na Christus wordt al gesproken van een vezelvlies, dat zich afzette in de bocht van de rivier, als vrouwen bij een wasplaats iets meer stroomopwaarts kleding op de stenen hadden schoongeslagen. Het eerste velletje papier was een feit.

Zoals echter pas in 1975 uit archeologische vondsten bleek, is het papiermaken waarschijnlijk al 200 jaar eerder uitgevonden door een boertje in China. Hij vervaardigde zijn papier uit plantevezels en lompen van kleding. Hij kneusde de vezels op stenen en voegde veel water toe om er een papje van te maken. Vervolgens spreidde hij dit uit op een vlakke ondergrond om het te laten ontwateren. Na drogen ontstond er een vlies, waarbij de vezels op een nieuwe manier aan elkaar gehecht waren. Dit produkt was bruikbaar om afbeeldingen op aan te brengen. Tot die tijd waren voor dat doel vooral zijden doeken en bamboestrippen in zwang. Het nieuwe schrijfmateriaal papier kreeg toen kennelijk slechts in beperkte kring bekendheid, want tot voor kort beschouwde men de veel later levende T'sai Lun, een Chinese akkerbouwminister, als de ontdekker van het papier. Hij was het namelijk die in 105 na Christus het gebruik van papier als schrijfmateriaal een nieuwe impuls gaf. In de Chinese term voor papier, *tsai-ho-tche* (papier van Heer T'sai), komt deze eer nog tot uitdrukking.

Ten tijde van T'sai Lun werd papier gemaakt uit de bast van de moerbeiboom, van bamboe, gras, hennep en afval van zijden weefsel. De techniek van het papiermaken kwam via krijgsgeslagenen uit de oorlogen tussen China en Perzië ook in de Arabische wereld terecht. Voordien waren papyrus en perkament veelgebruikte materialen in die omstreken. Papyrus, gemaakt van geplette stengels van de papyrusplant, was echter al op zijn retour vanwege het bewerkelijke procedé. Perkament, een oersterk beschrijfbaar materiaal gemaakt van ongeloooid geitevel, was een belangrijke maar dure concurrent. De Arabieren mechaniseerden als eersten de bereiding – het malen en hameren van de grondstof – door middel van watermolens. Via hun invasies in



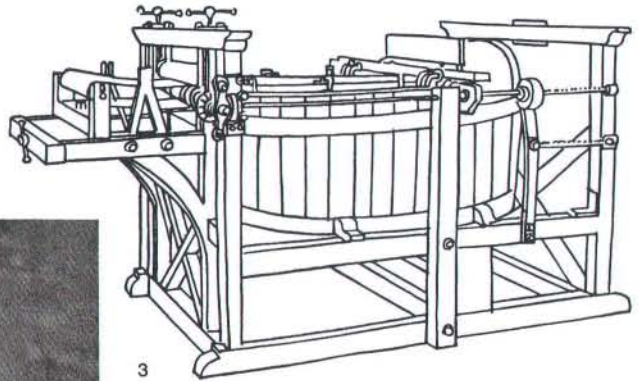
Europa brachten zij de Europeanen met deze techniek in contact, met als gevolg dat er omstreeks 1100 al papiermolens in Spanje, Italië en Frankrijk te vinden waren. In 1428 werd in de Nederlanden de eerste papiermolen operationeel. Papier werd al snel een alom aanvaard produkt. De vraag bleef stijgen. In 1600 was de behoefte aan grondstoffen katoen en linnen zelfs zo groot, dat de Engelse regering het gebruik van katoenen en linnen windsels voor het omzwachtelen van doden verbood. Hierdoor ontstond een levendige handel in linnen mummiewindsels uit Egypte.

Gedurende al die decennia bleven van oorsprong plantaardige textielvezels de belangrijkste grondstof voor papier. Pas in de acht-

tiende eeuw werd in Europa geëxperimenteerd met andere plantaardige vezelstoffen, zoals turf, zaagsel en plantestengels. Hout kwam pas in de negentiende eeuw als grondstof in trek, toen het vervezelen van bomen door slijpen – mechanisch vervezelen – werd uitgevonden. In de twintigste eeuw waren papiermakers voor het eerst in staat vezels uit hout te winnen onder hoge druk en bij hoge temperatuur of met behulp van chemische ontsluiting. Oud papier, dat tegenwoordig een belangrijke grondstof is, werd volgens de annalen in 1695 al eens beproefd.

Was de stofbereiding al door de Arabieren gemechaniseerd, het papiermaken zelf bleef zuiver handwerk met de schepzeef tot in 1799.

1. T'sai Lun wordt door velen beschouwd als 'de vader van het papier'. Er mogen dan twijfels over bestaan of hij als eerste papier wist te maken, wel staat onomstotelijk vast dat papier een Chinese vinding is.



2. De papiermaker schepte de papierbrij uit de kuip. Na wegvloeiing van het water vormde zich een papiervel. De koetsers drukte de natte vellen op een absorberend vilt, waarna men ze perste en droogde.

3. De eerste papiermachine, in 1799 geconstrueerd door de Fransman Louis Robert. Boven de ronde kuip is een bandzeef gemonteerd.

In dat jaar lukte het de Fransman Louis Robert om de eerste papiermachine te vervaardigen, een door twee rollen ondersteunde en aangedreven zeef. Op deze zeef bracht men een mengsel van vezelstof en water. Het water liep door de zeef en het achterblijvende vezelvlies werd over een met vilt bespannen wals, de koetswals, geleid en gedroogd. Ondanks de introductie van de papiermachine is het proces van papiermaken tegenwoordig in principe nog precies zo als in de tijd van T'sai Lun.

Celstof en vulstof

Al meer dan 2000 jaar gebruiken papiermakers plantaardige vezels als uitgangsmateriaal. Papier is als zodanig dan ook te beschouwen als een geschenk van Vader Zon en Moeder Aarde. Tegenwoordig worden vooral hout, afval van suikerriet, bamboe, katoen, vlas en oud papier als grondstof gebruikt. Een deel van deze grondstoffen vindt zonder chemische voorbewerking zijn toepassing, met name in de krantenpapierindustrie. Het overgrote deel van het basismateriaal wordt echter eerst ontdaan van een aantal ballaststoffen. Voor de fabricage van papier is namelijk alleen het bestanddeel cellulose van belang.

Plantaardige cellen bevatten naast cellulose vaak ook nog andere organische verbindingen, zoals lignine (houtstof) en hemicellulose. Onder invloed van chemicaliën en bij een verhoogde temperatuur en druk worden deze ongewenste stoffen opgelost en verwijderd. De



4

resterende cellulosefractie noemt men celstof. Celstof dient als grondstof voor de fabricage van wit papier.

Om papier met een hoge witheid te verkrijgen, moet de celstof worden gebleekt. Het spreekt vanzelf dat deze chemische bewerking het produkt veel duurder maakt. Onder druk van de hoge prijzen voor gebleekte celstof zoeken de papiermakers dan ook naarstig naar alternatieven voor deze stof en naar andere vezelbronnen.

Hergebruik van oud papier

Nederland springt erg zuinig om met papier. Van alle vezelstof die de Nederlandse papier- en kartonindustrie op dit moment gebruikt, is 64% van oud papier afkomstig. Circa 48% van al het papier, voor het merendeel afkomstig van huishoudens en industrie, wordt gerecicleerd. De rest wordt met het huisvuil verbrand, belandt in het riool of staat in boekenkasten opgeslagen. In 1980 schatten deskundigen nog dat 50% recirculatie het



INTERMEZZO

4. Over het algemeen gebruikt men bij de papierproductie een combinatie van naald- en loofhout. Dit is afkomstig uit speciaal daarvoor aangelegde productiebossen.

5. Stofbereiding. In de pulper (1), een met water gevulde kuip, worden de opeengeperste vezels (celstof of hout-slijp) door een rotor uiteengeslagen. Na maling in een 'refiner' (2) wordt de vezelpap in de voorraadkuip (3) goed gemengd. Voordat de papierbrij op de machine van water ontdaan wordt, ondergaat het mengsel een grondige reiniging. Eerst scheidt men in een centrifugaalreiniger (4) het zware vuil af en vervolgens in een zeeftrammel (5) het lichtere vuil. Dit schema van een papiermachine loopt door op de volgende pagina.

maximaal haalbare zou zijn. Het lijkt er dus op dat dit punt bijna is bereikt.

Hergebruik van oud papier brengt tevens de noodzaak voor specifieke aanpassingen in de produktiegang met zich mee. Door het opnieuw malen van al eerder gebruikte vezels, komen — meer dan bij zuivere grondstoffen — vezelfragmenten in de papierbrij. Samen met vulstoffen en andere restanten uit het oud papier veroorzaken deze stoffen problemen bij de ontwatering. Zij vertragen de waterafvoer en versnellen de vervuiling van zeef en vilten. Hierdoor ontstond

er behoefte aan hulpstoffen, die deze fijne fractie kunnen binden. Bepaalde poly-elektrolyten, de in de hoofdttekst besproken retentiemiddelen, bleken dit vermogen te bezitten.

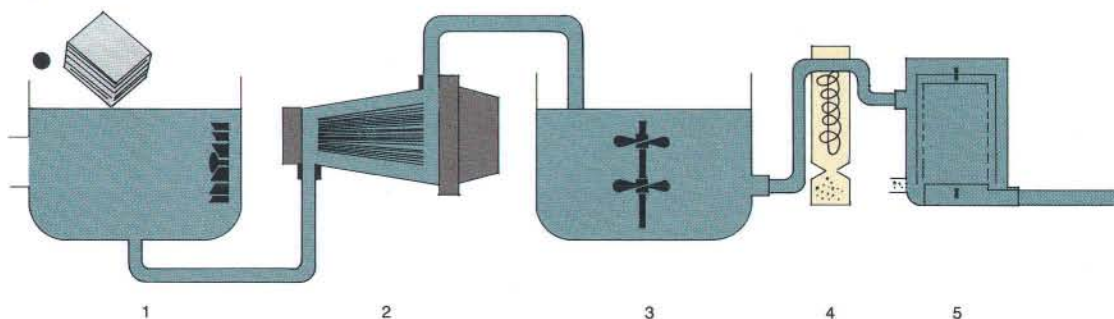
Een andere manier om van vezelresten en vrij rondzwevende vulstofdeeltjes af te komen, is het afscheiden door middel van *flotatie*, een techniek die zijn sporen in de mijnbouw reeds heeft verdiend. Bij de papierfabricage past men deze methode toe om inkt en andere ongewenste stoffen uit de vezelbrij af te scheiden.

De flotatietechniek berust op het principe dat drukinkt water afstoot en dat de cellulosevezels water juist aantrekken. Nadat in alkalisch milieu de inkt van de vezels is losgeweekt, worden zeer kleine luchtbelletjes in de vezelbrij geblazen. De inkt wordt in de mantel van de belletjes ingevangen en met de opstijgende lucht naar het oppervlak van de flotatietank getransporteerd. Indien bepaalde hulpstoffen worden toegevoegd, komen ook vulstofdeeltjes en vezelresten in het schuim aan de oppervlakte terecht, dat men vervolgens afroomt.

Behalve vezel- en vulstofresten komen met het gebruik van oud papier nog andere ongerechtigdheden in het circuit terecht. Daarbij valt te denken aan nietjes, paperclips, lijmruggen en kunststof coatings. Om deze verontreinigingen van het oud papier te scheiden, worden onder andere pulpers, sorteerdere en magneetafscheiders ingezet. Bij gebrek aan alternatieven worden deze restmaterialen meestal verbrand of gestort. Plastic kan soms opnieuw worden gebruikt in de plasticfabricage. De industrie is inmiddels naarstig op zoek naar nieuwe methoden van restverwerking. Eén toepassing is alvast gevonden. Er is een onderneming die, op basis van resterend kleihoudend slib, een goede kwaliteit kattenbakvulsel vervaardigt.



5



Ter vervanging van celstof worden vulstof-fen aangewend, vooral die met een grote witheid zoals titaanoxide en krijt (CaCO_3). In de gevallen waarin de witheid van minder belang is, valt de keuze vaak op klei. Een in Nederland veel gebruikt alternatief voor celstof is oud papier. Niet alle soorten oud papier zijn echter voor hergebruik geschikt. Hoogwaardig papier dat zo min mogelijk verontreinigd is met andere soorten vezels verdient de voorkeur. Verontreiniging met inkt is een minder belangrijk selectie criterium.

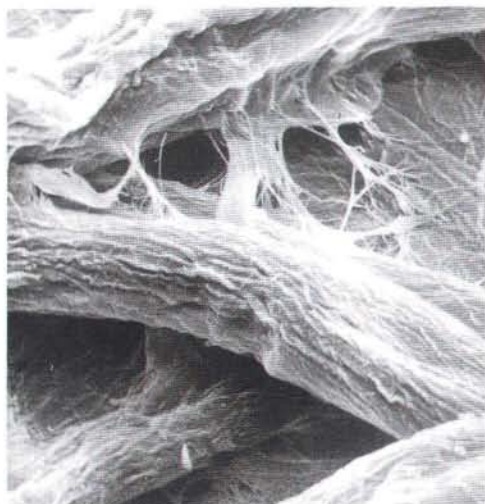
Het fabricageproces

De procesgang van de papierbereiding is op te splitsen in twee delen. Het eerste deel duiden we aan met de term stoffbereiding. In deze fase vinden de voorbereidingen plaats voor het ver-

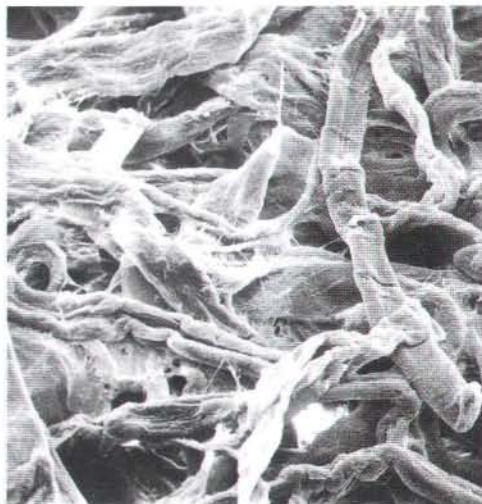
werken van de grondstof op de machine. Deel twee omvat de diverse stappen van de machinale bewerking. In afbeelding 5 zijn de achter-eenvolgende bewerkingen op een rijtje gezet.

Stoffbereiding

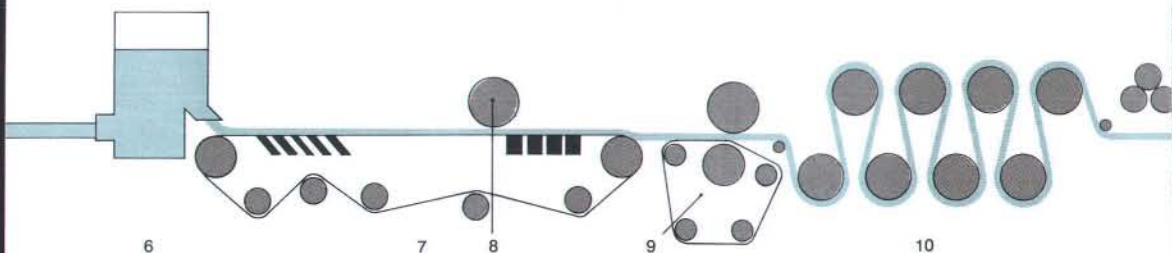
Een eerste stap in de stoffbereiding is het mechanisch vervezelen van de grondstof. Door de vezels vervolgens te malen, worden ze kapot gedrukt en komen de cellulosefibrillen, waaruit de vezels bestaan, gedeeltelijk vrij. De volgende handeling is het toevoegen van veel water. Daarin krijgen de fibrillen de ruimte om zich te strekken en ontstaan er talloze aanhechtingsplaatsen voor naburige fibrillen. Dit is in feite het belangrijkste principe van het papiermaken: de bestaande vezelstructuur verstoren en de vezels dwingen tot onderling contact in een vezelvlies. Om de uiteindelijke



6



7



6

7

8

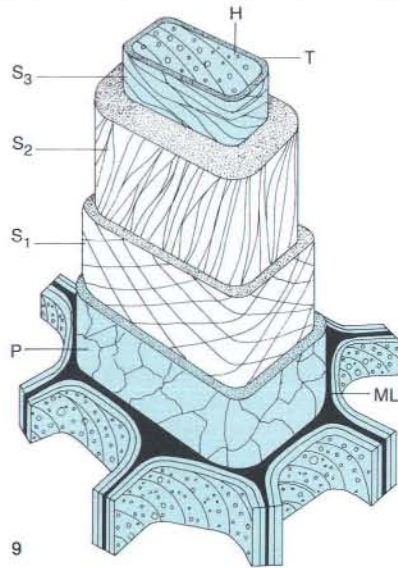
9

10

papiereigenschappen zoals bedrukbaarheid en sterkte te verbeteren, worden aan de vezelpap hulpstoffen toegevoegd. Verder is het bij de stofbereiding belangrijk dat het mengsel van de vezels en het water, voor het opbrengen op de zeef, goed gehomogeniseerd wordt, zodat er geen oneffenheden in het eindprodukt ontstaan door een plaatselijke verstrengeling van vezels.

Bewerking op de papiermachine

Het begin van de machinale bewerking, het opbrengen van de verkregen papierbrij op de zeef, is een kritieke fase in het fabricageproces. Het beïnvloedt namelijk onder meer de richting van de vezel en de samenklontering, en daarmee eigenschappen als buigzaamheid, egaliteit en sterkte van het eindprodukt. Wanneer het water tussen de vezels wegzakt, ko-



8

6. Een filtreerpapiervezel (800x vergroot). De vezel bestaat voor een groot gedeelte uit cellulose. Vijftig tot honderd cellulosemolekulen in kristallijne toestand vormen samen een micellaire streng. In de ruimten tussen deze eenheden bevinden zich stoffen als water en pectine. Een twintigtal van deze eenheden zijn verenigd in een microfibril. Een bundel van zulke microfibrillen wordt een fibril genoemd. De fibrillen zijn op de foto als dunne draadjes zichtbaar.

7. Het oppervlak van filtreerpapier (200x vergroot). De vezels zijn kriskras gerangschikt. Contacten tussen de fibrillen maken het tot een samenhangend geheel.

8. Dwarsdoorsnede door een velletje inktvloeipapier. Bij een vergroting van circa 100x is de poreuze structuur van dit sterk vochtabsorberende papier duidelijk zichtbaar.

9. Opbouw van een verhoutte plantecel. Van buiten naar binnen bestaat zo'n cel uit vier lagen. De middenlamel (ML) vult de ruimte tussen de cellen. In de primaire celwand (P) liggen cellulosemicrofibrillen, die onregelmatig gerangschikt zijn. De secundaire celwand (S1-3) bestaat voor een groot gedeelte uit cellulose en verleent de cel zijn stevigheid met een ligninerijke matrix. Aan de secundaire celwand zijn veelal drie lagen te onderscheiden, elk met een andere oriëntatie van de microfibrillen. Een dunne tertiaire celwand (T) omgeeft de celholte (H). De celinhoud is doorgaans afgestorven.

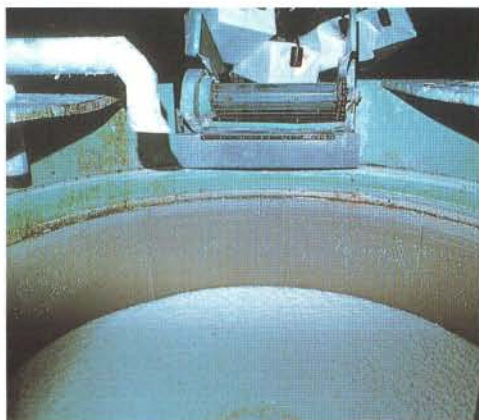
Vervolg 5. Machinale bewerking van de papierbrij. Via de oplooppkast (6) spuit men de waterige vezelmassa op het eerste gedeelte van de papiermachine, de natpartij (7). Meestal is dit een langzeef. Een deel van het water druipst vanzelf door het zeefdoek. Strijklatten en zuigbakken versnellen de ontwatering. Een egoutteurrol (8) aan de bovenzijde van de zeef zorgt voor een gelijkmatige verspreiding van de vezels. De natte papierbaan wordt via een vilt naar de perspartij (9) geleid, waar het watergehalte verder wordt gereduceerd. In de droogpartij (10) leidt men de papierbaan over een aantal, inwendig door stoom verhitte, droogcilinders. De papierbaan passeert dan vaak een coatingsectie (11), voor een oppervlaktebehandeling. Na droging (12) verlaat het papier de machine.



11

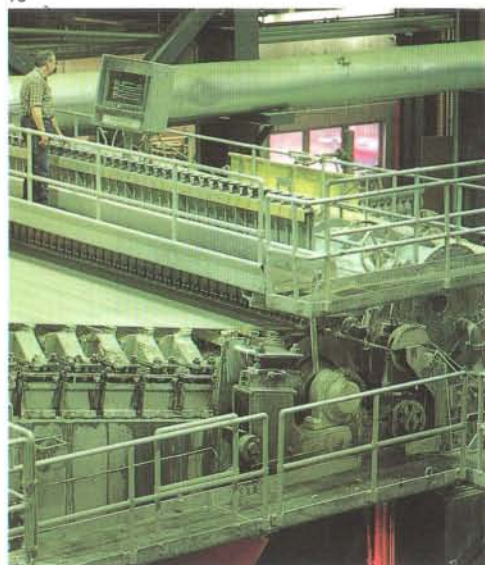
12

men de aanhechtingsplaatsen van de vezels met elkaar in contact. Om te zorgen dat zich een egaal vlies vormt, wordt de zeef heen en weer geschud. Voor dit doel gebruikt men ook wel eens een *egoutteur*, een cylinder die met metaalgaas bespannen is. Wanneer het papierin-wording de ontwateringselementen is gepasseerd, is de samenhang van de vezels in het vlies inmiddels zo groot dat het zonder te breken van de zeef kan worden afgenomen. Hoewel er per kilogram papier dan al circa 96 liter water verwijderd is, is het watergehalte dan nog steeds zo'n 75%. Persen brengt het gehalte nog verder terug, tot ongeveer 50%. Het resterende water wordt verwijderd door het ve-



11

10



10. Aanvang van de formatie van de papierbaan. Via een oplooptast wordt de papierbrij op de langzeef gebracht, die hem ontwaterd en met hoge snelheid in de richting van de perspartij transporteert.

11. Begin van de stofbereiding. Balen cellulose worden in de pulper gestort, waar de vezels in water uit elkaar geslagen worden.

12. Tegenwoordig is papierfabricage een groot-schalig gebeuren. Op de afbeelding hiernaast is vooraan de oplooptast zichtbaar, gevolgd door de zeefpartij. Daarna wordt het papier omhoog geleid naar de perssectie. In het afgesloten gedeelte daarachter bevinden zich de droogwalsen.

12



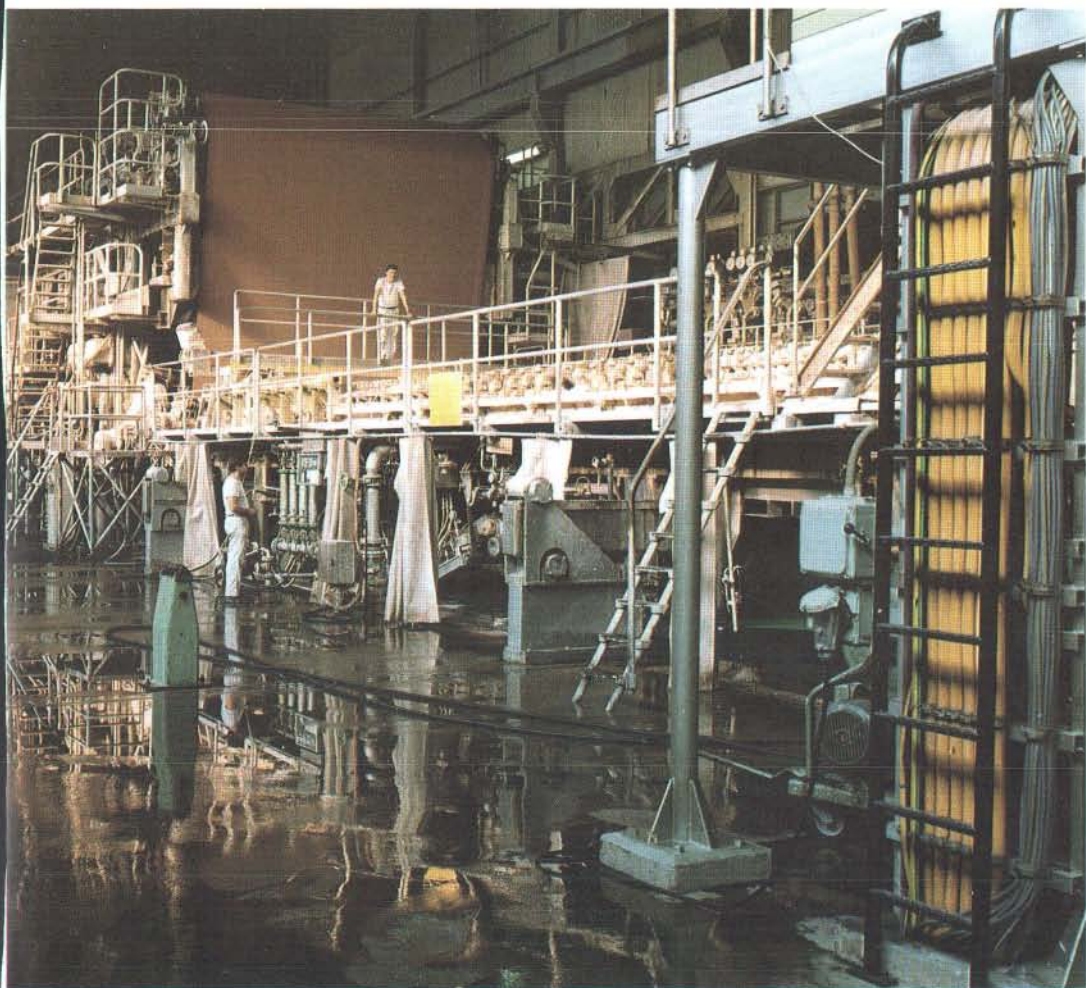
zelvies te drogen. Tijdens deze behandeling vindt pas de eigenlijke verbinding tussen de fibrillen plaats. Deze aaneenhechting komt voornamelijk tot stand door middel van waterstofbruggen tussen de zuurstofatomen van de cellulosemolekulen. Aan de massale vorming van dergelijke verbindingen ontleent het papier zijn sterkte. Hierna volgen eventueel nog een aantal nabewerkingen. Vaak is voor dit doel in de papiermachine na de droogpartij een coating-, of soms een glanssectie, geïnstalleerd.

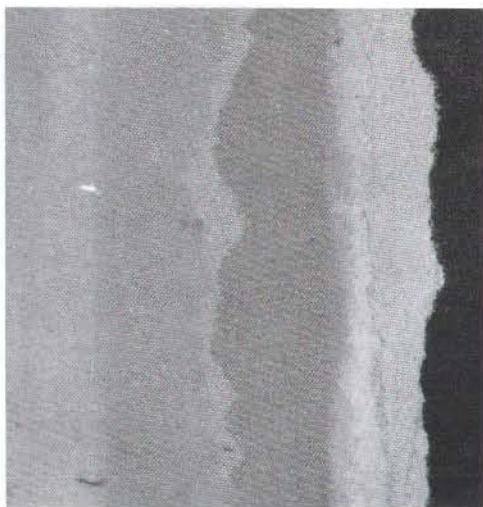
Papiermachines, nog altijd in ontwikkeling

Sinds 1799, het jaar waarin de Fransman Louis Robert de papiermachine uitvond, is er heel wat aan de machinerieën voor de papierfabricage veranderd. Zowel de omvang als de productiesnelheid van de machines is met de tijd meegegaan. Computerbesturing heeft ook in deze tak van industrie zijn intrede gedaan. De haast onverzadigbare vraag naar een goedkoop, beschrijfbaar en bedrukbaar medium, en naar voordelig verpakkingsmateriaal is de belangrijkste stuwende kracht achter deze ontwikkeling. Ook technische verbeteringen op het gebied van walsen en stalen frame-delen,

nieuwe inzichten bij de vezelstofbereiding en ontwikkelingen in de meet- en regeltechniek zijn daarbij onontbeerlijk.

Er zijn veel verschillende typen papiermachines, voor elke soort papier minstens één. Het verschil zit hem in de aanpassing van specifieke onderdelen. Zo zijn er langzeef- en rondzeefmachines (en combinaties van onderdelen van beide typen). De twee verschillen qua samenstelling van de 'natpartij', het gedeelte van de machine dat vooraf gaat aan de pers- en droogsectie. Maar ook in de laatste onderdelen zijn vele variaties mogelijk. Enkele voorbeelden van papiermachines en hun producten volgen hieronder.





13

13. Karton samengesteld uit meerdere lagen. Dit produkt wordt gemaakt op één machine, die de verschillende lagen in natte toestand samenvoegt.

14. Rondzeven kenmerken zich, in tegenstelling tot langzeven, door de formatie van de papierbaan aan de onderzijde van het afnamevilt. In onderstaande tekening is te zien hoe zuigbakken binnen in de cilindervormige zeef zorgen voor een extra snelle afvoer van water. Dit gebeurt door middel van vacuümzuiging.

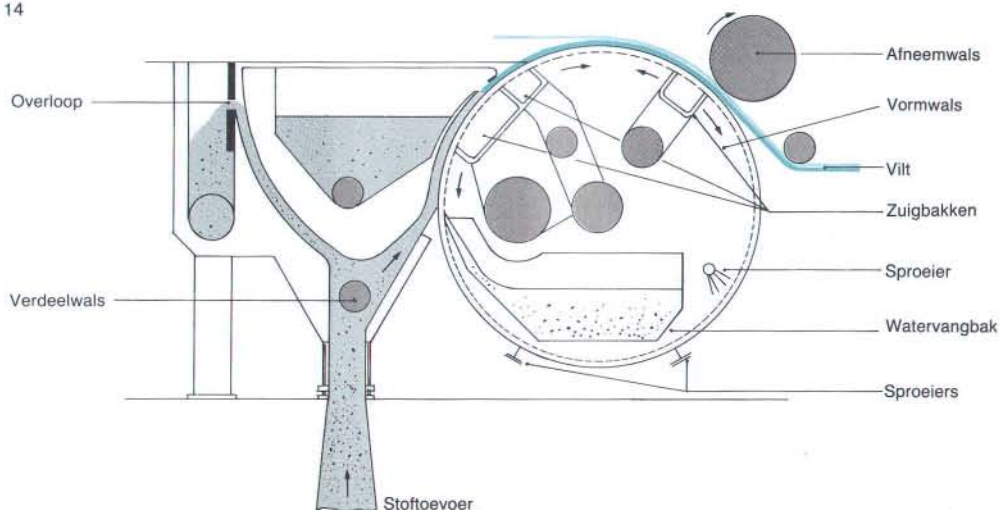
15. Droogpartij. Bij deze droogpartij in aanbouw zijn, door het ontbreken van de omkasting, de afzonderlijke droogwalsen zichtbaar.

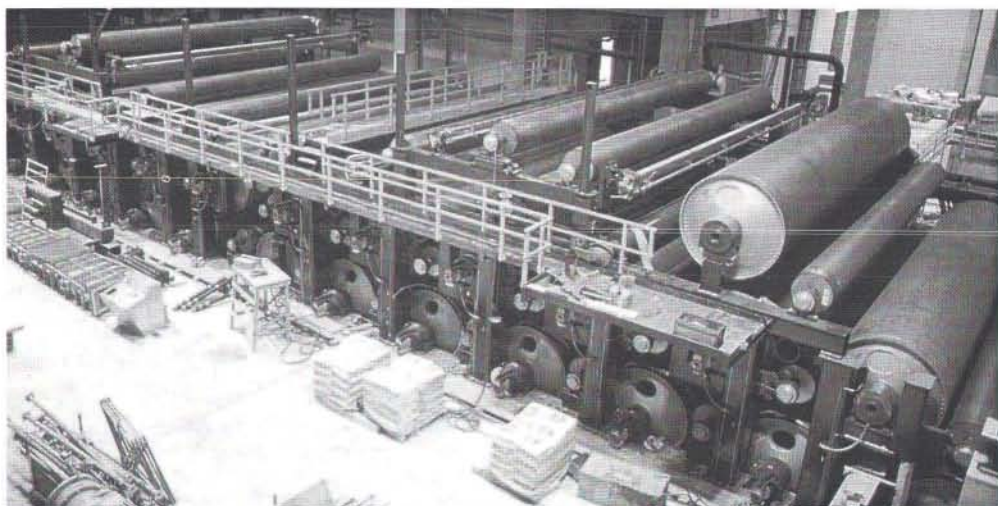
16. Egoutteurrollen. De met kopergaas beklede rollen, gemonteerd op de zeefpartij, zorgen voor een verbeterde bladstructuur. Tevens kunnen ze worden gebruikt om watermerken aan te brengen. In dat geval soldeert men fijn koperdraad op het gaas, waardoor, bij contact met de vezelbrij, vulstoffen in het papier plaatselijk worden weggedrukt. Op die plaatsen wordt het papier enigszins doorschijnend.

Snellopende langzeefmachines (met een snelheid van 5 tot 20 ms^{-1}) worden gebruikt voor de vervaardiging van dunnere papier-soorten. Langzaamlopende langzeefmachines kunnen dik karton produceren, dat wil zeggen karton uit één laag. Er zijn ook dikkere papier-soorten die eveneens karton genoemd worden, maar die uit verschillende lagen zijn opgebouwd. Deze worden vervaardigd op een meerzeefmachine, een combinatie van een aantal rondzeefmachines, die elk een vezellaag produceren. Door ze in natte toestand samen

te voegen, is het mogelijk diverse soorten vezellagen in één produkt te verenigen, zoals bij vouwdozenkarton gebeurt. Hierbij is de bovenlaag van witte celstof gemaakt. De grijze tussenlagen zijn van oudpapierstof en voor de onderlaag is houtslip als uitgangsmateriaal genomen. Dit maakt het mogelijk om in één procesgang karton te maken dat aan speciale eisen voldoet wat betreft stijfheid, sterkte, vouweigenschappen en bedrukbaarheid. Voor eenzijdig gladde en gecrêpte papier-soorten (voor sanitair gebruik) is een installatie met

14





15

één grote droogcilinder in gebruik. De crêpe ontstaat door de dunne papierlaag van de cilinder af te schrapen.

De laatste jaren heeft de papiermachine enkele belangrijke ontwikkelingen doorgemaakt. Hieronder volgt een overzicht van de belangrijkste veranderingen.

– *Het proces.* Het hele proces verloopt tegenwoordig computergestuurd. De gegevens die nodig zijn voor de processturing worden verzameld door meting rechtstreeks aan de papierbaan. De machinevoerder kan de stand

van zaken in één oogopslag overzien door middel van diagrammen op het kleurenbeeldscherm.

– *De zeven.* De huidige langzeven zijn van kunststof. In vergelijking met de voorheen toegepaste materialen brons en roestvrijstaal, is een grotere slijtvastheid bereikt. Bovendien is de tijd dat de zeven in bedrijf zijn, verlengd van enkele weken tot vele maanden. Het aantal machinestops voor het verwisselen van de zeven is navenant lager. Een andere, zeer recente, ontwikkeling is het gebruik van dubbelzeven. Bij dit systeem wordt de papierbrij tussen twee zeven gebracht, in plaats van op één lange bandzeef. Het verwijderen van het water gebeurt door onder- en bovenzeef tegelijk, hetgeen veel tijdswinst oplevert.

– *De ontwateringselementen.* Om het door de zeef vallende water sneller af te voeren, maakt men gebruik van *foils*. Een foil is een kunststof lamel, die onder een scherpe hoek tegen de onderkant van de zeef is aangedrukt. Afhankelijk van de standhoek van de foils en de snelheid van de zeef ontstaat juist achter de contactlijn tussen foil en zeef een onderdruk, die een versnelde afvloeiing van water mogelijk maakt. Naast foils worden ook wel vlakzuigbakken voor dit doel gebruikt. Deze kunnen een grotere onderdruk creëren dan de foils. Was het met de vroeger gebruikte registerwalsen niet mogelijk om een watergehalte lager dan 82% te realiseren, met behulp van

16





foils en vlakzuigbakken is het watergehalte in de papierbaan tot 75% te reduceren. Bij het persen en drogen hoeft dan anderhalve liter water per kilogram papier minder verwijderd te worden. Dit betekent een energiebesparing van 30%.

– *De perspartij.* Tijdens het doorlopen van de perspartij wordt het natte papier over vilt-doeken geleid. Voorheen bestonden deze uit wol of katoen. Nu zijn deze materialen vervangen door kunstvezels, waardoor de wateropname en -afgifte, de reinigbaarheid en de slijt-vastheid sterk zijn verbeterd. Het gebruik van speciale sproeiërs en reinigingsvloeistoffen bestrijdt vervuiling met vezels, vulstofdeeltjes, hulpstoffen en kalk zo veel mogelijk.

– *Coatings.* De techniek van het aanbrengen en samenstellen van coatings op het papieroppervlak is in volle ontwikkeling. Vooral het vloeigedrag van de coatingvloeistoffen is onderwerp van studie in verband met de hoge snelheid waarmee men de coating wenst op te brengen.

Hulpstoffen

In het algemeen passen papierfabrikanten hulpstoffen toe om de eigenschappen van het eindproduct te verbeteren of het productieproces te bespoedigen. Hars, aluin, gelatine en stijfjel zijn voorbeelden van zulke hulpstoffen. Om papier beter beschrijfbaar te maken, kan het worden bestreken met een stijfjeloplossing of met gelatine. Dit proces noemt men oppervlaktelijming. Na droging heeft zich een waterafstotende laag gevormd: inkt dringt niet

in het papier. Een andere mogelijkheid om dit doel te bereiken is het toevoegen van hars aan de vezelbrij. Hars heeft het voordeel dat het niet aan bederf onderhevig is, zoals gelatine en stijfjel. In combinatie met aluminiumsulfaat, dat ook papiermakersaluin of met een foutieve naam kortweg 'aluin' wordt genoemd, vormt zich een aluminiumverbinding, die neerslaat. Dit neerslag blijft grotendeels in het vezelvlies achter. Bij het droogproces smelt de hars vervolgens door de warmte en vloeit over de vezels uit. Deze verliezen daardoor het vermogen om water op te nemen. De hierboven beschreven behandeling heet inwendige lijming.

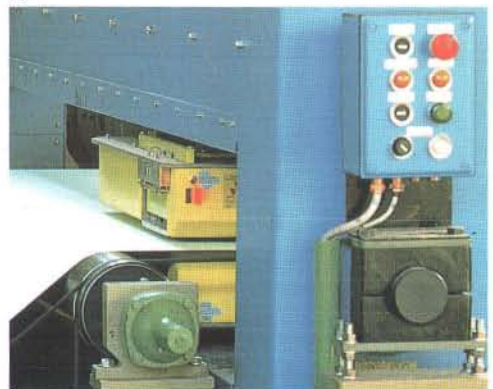
Naast hulpmiddelen ter verbetering van de beschrijfbaarheid van papier zijn er nog vele hulpstoffen voor andere doeleinden op de markt. Voorbeelden hiervan zijn bindmiddelen, opwitters, antischuimmiddelen, natsterktemiddelen en stoffen ter bevordering van retentie en ontwatering. Deze laatste twee categorieën zijn vooral belangrijk, omdat ze respectievelijk hergebruik van water en een aanzienlijke snelheidsverhoging van de machine mogelijk maken.

De laatste twintig jaar heeft het gebruik van *retentie- en ontwateringsmiddelen* een grote vlucht genomen. Daarvoor zijn een aantal oorzaken aan te wijzen. Om te beginnen werd hout als papiergrondstof schaars, met als gevolg dat de papierindustrie meer en meer overstapte op oud papier als vezelbron. Ook gingen men ertoe over om vezels te vervangen door vulstoffen, zoals klei en krijt. Een andere drijfveer om deze hulpstoffen te gebruiken was de milieuheffing op het door bedrijven ge-

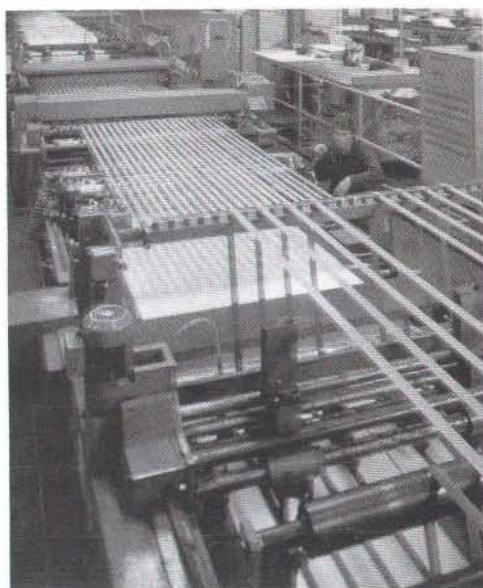
17. Kalander. Achter de droogpartij bevindt zich vaak de kalander. Dit machine-onderdeel bestaat uit een serie boven elkaar geïnstalleerde perswalsen. Het kalanderen dient om het papieroppervlak nog verder te egaliseren, waardoor het tevens glans krijgt en beter bedrukbaar wordt.

18. Moderne computerbesturing van de papiermachine. De procescomputer verzamelt gegevens met betrekking tot basisgewicht, dikte en gladheid en andere eigenschappen van het papier. Met één druk op de knop zijn vele instelwaarden op te vragen en zo nodig bij te stellen.

18

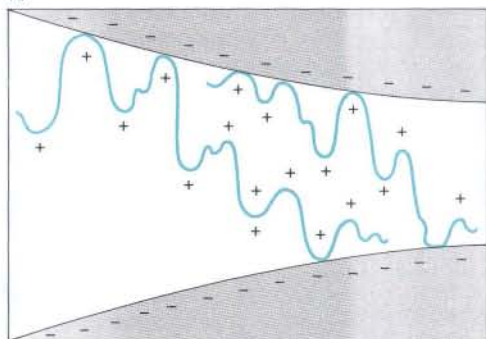


loosde afvalwater. Deze maatregel verhoogde de belangstelling van papierfabrieken voor maatregelen om het waterverbruik in het productieproces te beperken. Vermindering van het watergebruik leidde echter tegelijkertijd tot hogere concentraties vulstof- en zetmeel-deeltjes en fijne vezels in het proceswater. Om zulke colloïdale deeltjes te binden en uit het proceswater te houden gingen fabrikanten over tot het gebruik van retentiemiddelen. Dit zijn polymeren met molekuulgroepen, die in water ionen afsplitsen. Al naar gelang ze positief of negatief geladen zijn, worden ze kationische of anionische poly-elektrolyten genoemd. Ten gevolge van elektrostatische aantrekkingskrachten tussen iongroepen of door de van der Waals-kracht binden de colloïdale deeltjes zich aan het oppervlak van de polymeerketens. Ontwateringsversnellers zorgen voor een snellere droging van het papier. Ze binden op een vergelijkbare manier aan het



20

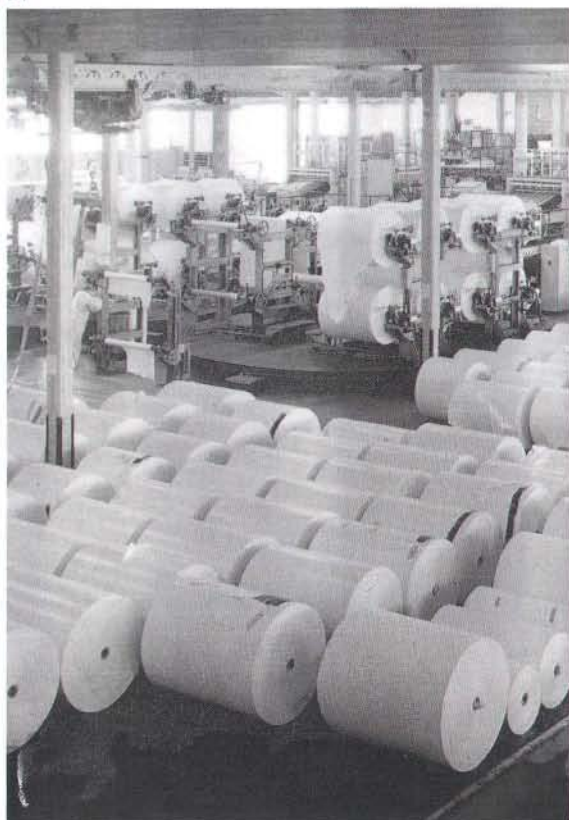
19



19. Vlokkingsmechanisme van retentiemiddelen. Er bestaan zowel positief als negatief geladen retentiemiddelen. Afbeelding 19 laat zien hoe positief geladen polymere molekulen binden aan een negatief vezeloppervlak. Daarbij ontstaan lussen en losse uiteinden van de polymeer, die in de vloeistof steken. Wanneer deze uitstekende delen tegen andere vezels botsen binden ze daaraan. Zo worden de vezeldeeltjes door polymeerbruggen tot een hecht netwerk met elkaar verbonden.

20 en 21. In de afwerkhal kunnen de rollen papier op elk gewenst formaat worden gesneden. Afbeelding 20 toont een dwarssnijmachine. Op de foto hiernaast is een vellen-snijmachine te zien. Deze snijdt en telt de vellen en stapelt ze op palets.

21



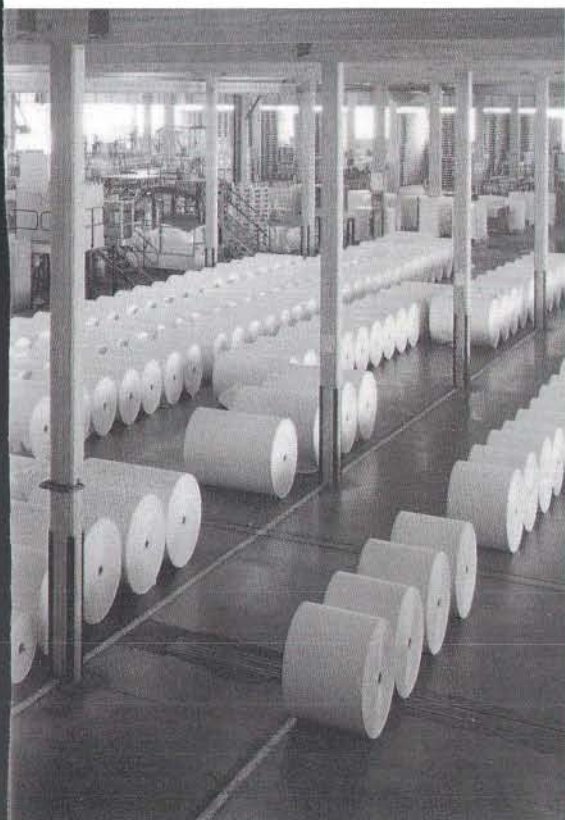
oppervlak van vezels. Watermolekulen die aanvankelijk het vezeloppervlak bezetten, worden zo verdrongen.

Een blik in de toekomst

Net stipten we de tendens naar een beperking van de hoeveelheid proceswater al even aan. Een techniek, die om deze reden nu in de belangstelling staat, is de droge vorming van papier. Aan deze methode van papiermaken komt geen of zeer weinig water te pas. Momenteel bestudeert men of het mogelijk is om de vezels in schuim of lucht naar de zeef te transporteren.

Naast grote ontwikkelingen in het fabricageproces, is het voor de fabrikanten natuurlijk ook van belang hoe de afzetmarkt zich zal ontwikkelen. De algemene gedachte is dat de toenemende automatisering een dalend papierverbruik teweeg zal brengen. Inderdaad is er een

ontwikkeling te bespeuren naar een dalend papiergebruik. Nu al vindt er op grote schaal informatieoverdracht plaats zonder dat er papier aan te pas komt: binnen computernetwerken en via microfiches en beeldplaat. Uit recent onderzoek is echter gebleken dat door de groeiende toepassing van computers en tekstverwerkers het gebruik van fijnpapier toeneemt, alleen al omdat iedereen op elk gewenst moment even een copie kan maken. Er vinden dus verschuivingen naar andere kwaliteiten papier plaats. De groeiende produktie van computerpapier, diverse soorten kopieerpapier en optisch wit papier zijn voorbeelden. Voor de papierindustrie als geheel lijkt er een goede toekomst te zijn weggelegd, want volgens de prognoses (tot het jaar 2000) van de Food and Agriculture Organisation (FAO) blijft de stijging in de laatste decaden van de produktie en het verbruik van papier, op wereldschaal bezien, doorzetten.




Literatuur

- Bergen WJC van, Haan WE de, Schoneboom HC, Vos PD de. *Het Papierboek*, Haarlem: Stichting Vakopleiding Papierindustrie, 1981.
 Poortenaar J, Hunter D, Pels C. *De Papierwereld*. Naarden: Uitgeverij In de toren, 1939.
 Voorn H. *De uitvinding van het papier*. Amsterdam: Uitgeverij De Papierwereld, 1950.
 Casey JP. *Pulp and paper*. Chemistry and Chemical Technology. New York: John Wiley and Sons, 1980: volume 3.

Bronvermelding illustraties

- Rijksmuseum voor Volkskunde 'Het Nederlands Openluchtmuseum', Arnhem: 1, 2.
 Koninklijke Nederlandse Papierfabrieken NV, Maastricht: 3.
 Parenco Krantenpapier BV, Renkum: opening, 4, 10, 15.
 Vereniging van Nederlandse Papier- en Kartonfabrikanten, Haarlem: intermezzo.
 TNO, Afdeling Maatschappelijke Technologie, Delft: 6, 7, 8.
 Gelderse Papiergroep NV, Apeldoorn: 11, 16, 18, 20.
 Fotografie Thijs Habets, Valkenburg (L.): 12, 17, 21.
 Papierfabriek De Hoop BV, Eerbeek: 13.



S. Henstra

*Stichting Technische en Fysische
Dienst voor de Landbouw
Wageningen*

E.B.A. Bisdorf

*Stichting voor Bodemkartering
Wageningen*



ANALYTISCHE FYSICA

Het lokaliseren van elementen

De stormachtige ontwikkeling van de halfgeleiders is mede mogelijk geworden door zeer gevoelige apparatuur voor microchemische analyse. Deze onderzoekstechnieken zijn gebaseerd op de interactie van elektromagnetische straling, elektronen of ionen met de te onderzoeken stof, waardoor nieuwe straling wordt opgewekt die karakteristiek is voor de samenstelling van deze stof. Enkele van deze technieken worden gebruikt in combinatie met een elektronenmicroscop. Niet alleen de halfgeleidertechnologie, maar ook vele andere takken van wetenschap, zoals de metallurgie, kunststofchemie, bodemkunde, geologie, biologie, de medische wetenschap en het milieuonderzoek hebben kunnen profiteren van de vooruitgang op het gebied van deze moderne onderzoekstechnieken.

De 'natte' chemische analyse geeft langzaam maar zeker terrein prijs aan de fysisch-chemische analysetechnieken. Daarbij verschijnt peperdure laboratoriumapparatuur waarin meestal hoog vacuüm heerst. De foto toont het monster, het uiteinde van een laser en de opening van een massaspectrometer in de LAMMA 1000®. De Nd-YAG-laser brandt een gaatje in het oppervlak van de halfgeleider. Daarbij komen ionen vrij die in de massaspectrometer geanalyseerd worden. Zo verkrijgt men gedetailleerde informatie over het oppervlak.

De eerste schreden op het pad van de analytische chemie werden gezet door de Ierse geleerde Robert Boyle (1627-1691). Later, in 1814, publiceerde de Zweedse scheikundige Berzelius (1779-1848) een lijst met de nauwkeurige atoomgewichten van bijna alle toen bekende chemische elementen. Hij introduceerde ook de moderne symbolen voor de elementen. Na hem leverde de Franse natuur- en scheikundige Gay-Lussac (1778-1850) belangrijke bijdragen. Hiermee was de basis gelegd voor de analytische chemie, die in de negentiende eeuw een bruikbaar instrument werd.

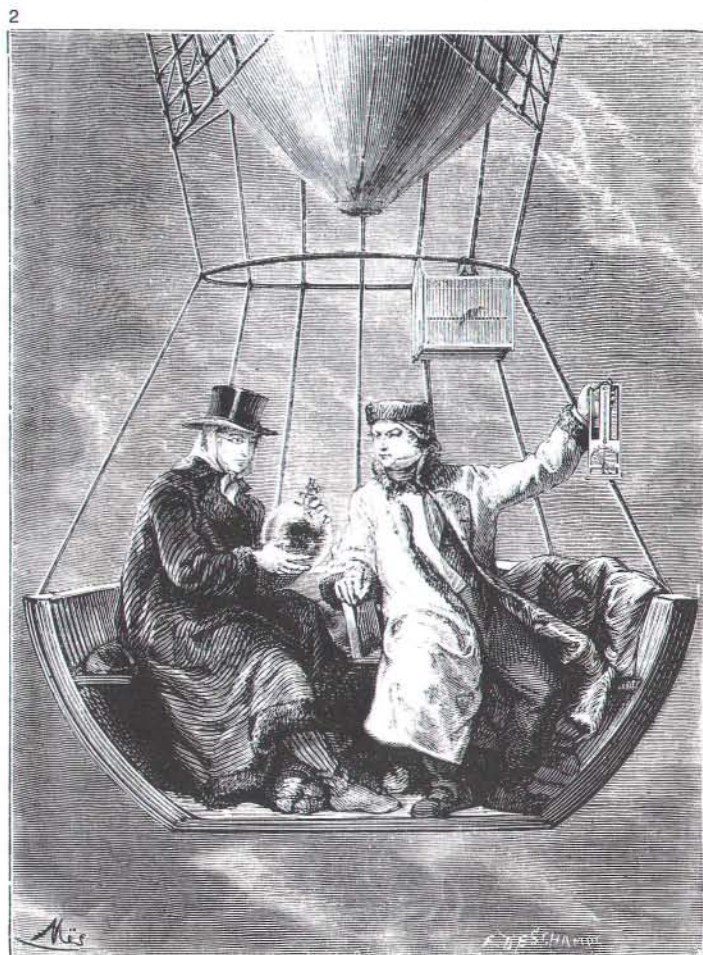
We spreken hierbij over de klassieke, natte chemische analyse, waarbij aan de te onderzoeken onbekende stof een bekend reagens wordt toegevoegd. Uit de reactie die optreedt

kan de aard van de onbekende stof worden afgeleid. Meestal bestaat zo'n analyse uit een aantal chemische reacties die systematisch worden uitgevoerd. Voor een dergelijk experiment is een relatief grote hoeveelheid van de te onderzoeken stof nodig.

De ontwikkelingen op natuurkundig gebied in het begin van de twintigste eeuw hadden veelal betrekking op de verschillende vormen van elektromagnetische straling en de daarmee samenhangende fysische verschijnselen. De eerste Nobelprijs voor de Natuurkunde werd dan ook in 1901 toegekend aan Wilhelm Conrad Röntgen voor zijn ontdekking van de röntgenstralen. Het was de tijd waarin Niels Bohr meer duidelijkheid bracht in de bouw van het atoom door hiervoor een model te ontwerpen



1 en 2. Robert Boyle (1) en Joseph Louis Gay-Lussac (2, links in het ballonmandje) waren pioniers in de analytische chemie. Gay-Lussac is afgebeeld tijdens de eerste wetenschappelijke ballonvaart, op 20 augustus 1804, samen met Biot.



TABEL . Vergelijking tussen de natte en de droge chemie

Natte chemie	Droge chemie
Chemisch proces	Fysisch proces
Destructief	Soms destructief
Groot monstervolume	Zeer klein monstervolume
Geen preparaatvoorbereiding	Soms zeer gecompliceerde preparaatvoorbereiding
Kwantitatief	Kwantitatief bij gebruik van standaarden
Relatief lage gevoeligheid	Zeer hoge gevoeligheid
Geen lokalisatie op microschaal	Wel lokalisatie op microschaal
Relatief matige investering	Hoge tot zeer hoge investering

dat beter overeen kwam met de bestaande experimentele gegevens. Enkele beroemd geworden kernfysici vonden de eerste 'elementaire' deeltjes waaruit de atomen zijn opgebouwd.

De ontdekking dat elektronen een golfkarakter bezitten en dat deze door rotatiesymmetrische elektrische of magnetische velden kunnen worden gebundeld op soortgelijke wijze als lichtgolven zich door glazen lenzen laten focuseren, heeft tenslotte in 1931 tot de elektronenmicroscop geleid.

Het moderne onderzoek vraagt echter niet alleen om opheldering van de ultrastructuur van objecten, maar ook van de daarin aanwezige chemische elementen en verbindingen. De elektronenmicroscop kan daaraan deels tegemoetkomen en biedt daarbij de unieke mogelijkheid van nauwkeurige lokalisatie.

De elektronen die voor de afbeelding worden gebruikt, met een energie in de orde van 100 000 elektronvolt (eV), veroorzaken door interactie met de atomen waaruit het af te beelden object is opgebouwd een aantal specifieke fysische verschijnselen die voor analytische doeleinden kunnen worden gebruikt. Ook bij bestraling met verschillende soorten elektromagnetische golven in het licht- en röntgebied, of met ionen of protonen, geven de bestraalde elementen specifieke straling af, die eveneens voor analytische doeleinden gebruikt kan worden. Het gaat hierbij in eerste instantie om een kwalitatieve analyse, maar door het gebruik van standaarden en het toepassen van

wiskundige bewerkingen op de meetgegevens kan ook kwantitatieve informatie worden verkregen.

Deze wijze van onderzoek maakt het mogelijk om zeer inhomogene monsters te analyseren en daarbij de samenstelling van ieder element afzonderlijk in kaart te brengen. Dit onderzoek vergt slechts zeer weinig materiaal.

De reageerbuis heeft plaats gemaakt, zo kunnen we stellen, voor analyse-instrumenten van gigantische afmetingen waarvan de prijs in de orde van één miljoen gulden ligt. Dit betekent nog niet dat de reageerbuis helemaal heeft afgedaan. Alleen in die gevallen waarbij de probleemstelling hierom vraagt zullen we overschakelen op de instrumentele analyse.

Het aantal technieken voor microchemische analyse is thans zo groot, dat we ons in dit artikel noodgedwongen moeten beperken tot bespreking van een kleine selectie die hopelijk toch een goed overzicht biedt.

Chemie versus fysica

Vergelijken we de klassieke (natte) chemie nogmaals met de instrumentele analyse, dan bestaan er naast analogieën een aantal belangrijke verschillen. Ze zijn aangegeven in de tabel, waaruit duidelijk zal zijn dat een afweging tussen beide technieken zowel zal afhangen van de vraagstelling als van de beschikbare middelen. We zullen ons verder bezighouden met de instrumentele, fysisch-chemische ana-

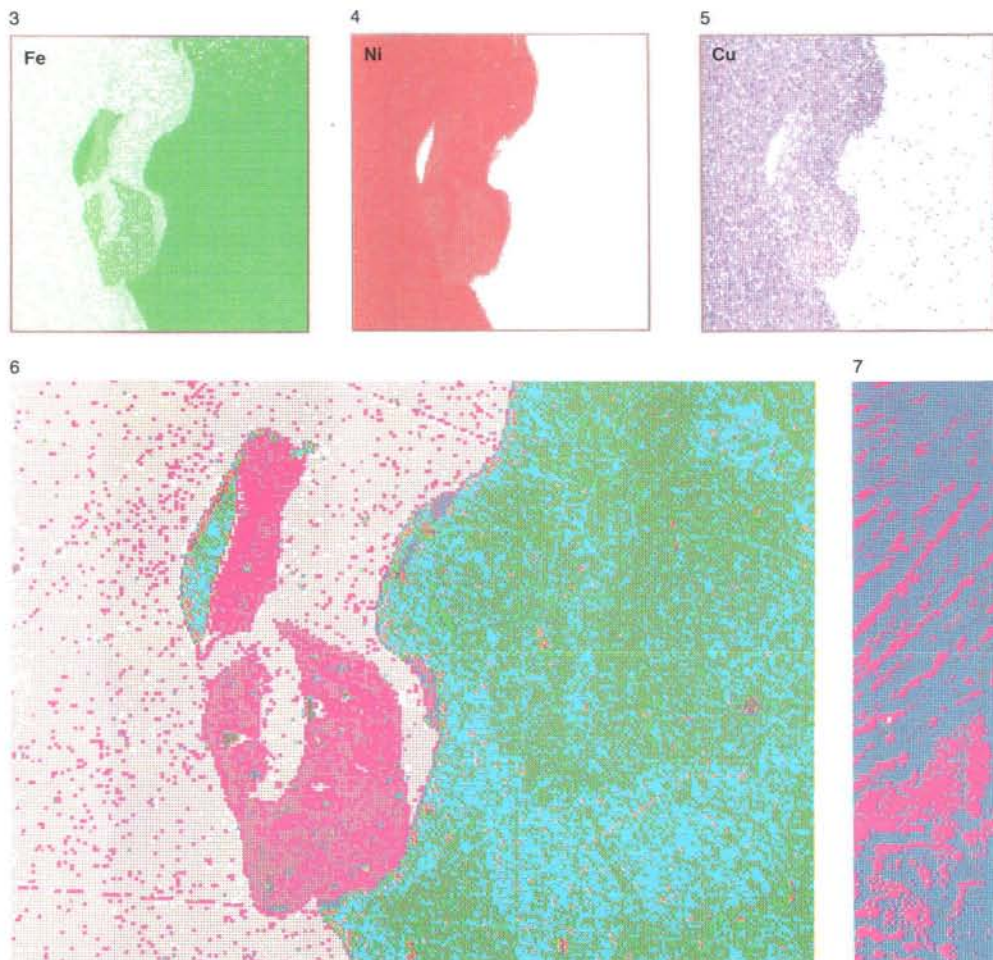
lyse op microschaal. Dat zijn methoden waarbij het in het algemeen gaat om analyses van zeer kleine volumina met zo mogelijk een nauwkeurige plaatsbepaling.

Zoals uit de tabel ook blijkt kan een instrumentele analysemethode zowel destructief als niet-destructief zijn. Een analysetechniek waarbij het monster met één van de genoemde soorten straling wordt bewerkt kan in principe destructief zijn. Dit is het minst zo bij elektromagnetische straling, praktisch gezien ontstaat zelfs verwaarloosbaar kleine schade. We spreken dan van niet-destructief. Hetzelfde geldt, in wat mindere mate, voor elektronen. Geheel anders wordt het wanneer we bestralen met ionen of protonen. Deze deeltjes zijn tenminste 2000 maal zwaarder dan elektronen. Daarbij

gaat het wel degelijk om een destructief proces en dat is dan ook duidelijk merkbaar, want dit soort analyses is helaas niet herhaalbaar op hetzelfde monster.

Microanalyse en sporenanalyse

Bij microanalyse wil men vaak een stof opsporen die lokaal in een elektronenmicroscopisch preparaat aanwezig is, in een gehalte van enige procenten of minder. Wanneer de concentratie waarden bereikt beneden de 10^{-6} spreken we van sporenanalyse. Dit laatste is bijvoorbeeld het geval wanneer aan een siliciumkristal een geringe hoeveelheid borium is toegevoegd, of wanneer we het calciumgehalte van een plantecel willen meten. Wanneer we daarbij gebruik

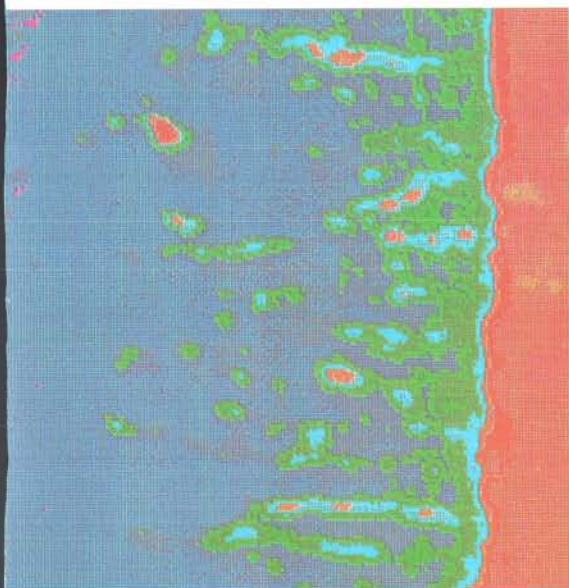




8

3, 4, 5, 6 en 7. Met energiedispersieve spectroscopie, een röntgenmicroanalytische techniek, kunnen tweedimensionale verdelingen van elementen in metalen worden gemeten. De onderlinge rangschikking van de zwaardere elementen is dan goed te zien. Afb. 7, een kleurenprint als resultaat van automatische gegevensverwerking, toont een dwarsdoorsnede van een nitridecoating op ijzer. De ondergrond ligt rechts. De afbeelding is 20 μm breed. Een dwarsdoorsnede (100 μm breed) van een Cu-Ni-legering op een staalplaat is in 6 afgebeeld. In 3, 4 en 5 zijn de afzonderlijke elementen weergegeven, een intense kleur betekent een hoge concentratie.

8. Een slijpplaat van een monster van met zware metalen verontreinigde grond. Zie verder afb. 11 t/m 14.



kunnen maken van analyseapparatuur in combinatie met een elektronenmicroscop, kunnen we ons monster zichtbaar maken en gebieden selecteren waar we een microanalyse willen uitvoeren. Daarbij kan, bij een voldoende hoge concentratie, een verdelingsbeeld gemaakt worden (mapping), waarop we kunnen zien hoe een bepaald chemisch element in een monster is verdeeld.

Bij de bestaande methoden voor microanalyse kunnen volumina van enkele honderden nm^3 worden geanalyseerd. De methoden voor sporenanalyse maken het mogelijk om in enkele gevallen massa's beneden de 10^{-20} g aan te tonen. De minimale concentratie welke we kunnen meten wordt de detectiegrens genoemd. Deze waarde ligt voor microanalyse in de orde van 10^{-3} - 10^{-4} en voor sporenanalyse beneden de 10^{-6} .

De gevoeligheid van een bepaalde methode wordt uiteraard bepaald door de signaal/ruis-verhouding. Een groot signaal wordt verkregen bij een hoge bundelstroom en een zo groot mogelijke bundeldiameter. Het nadeel van een grote bundeldiameter is weer dat we dan de lokalisaties niet meer zo nauwkeurig kunnen uitvoeren. De omstandigheden en de technieken moeten dus haast per geval worden gekozen.

Röntgenmicroanalyse

Tot de oudste methoden voor microanalyse behoren die waarbij röntgenspectra van chemische elementen worden verkregen door de atomen van een element aan te stralen met hoogenergetische elektronen, waarbij atomen worden geïoniseerd. We nemen daarbij als voorbeeld dat een elektron uit de binnenste baan, de K-schil, wordt weggeschoten. De vrijkomende plaats wordt daarna meteen ingenomen door een elektron van een meer naar buiten gelegen L-schil welke zich, omdat hij verder van de kern verwijderd is, op een hoger energieniveau bevindt. Dit verschil in energie wordt afgestaan in de vorm van röntgenstraling met een voor het desbetreffende element karakteristieke energie en golflengte. De hierdoor vrijkomende plaats in de L-schil wordt weer ingenomen door een elektron van de M-schil, en zo verder tot de buitenste schil bereikt is. Hierdoor ontstaat een bundel spectraallijnen, die karakteristiek is voor een bepaald element.

De energie van de röntgenstraling kunnen we uitdrukken in de formule

$$E_{K\alpha} = E_K - E_L$$

Verder is deze energie gelijk aan

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

waarbij E = energie in eV; h = constante van Planck; ν = frequentie; c = lichtsnelheid en λ = golflengte.

Hieruit blijkt, dat deze straling wordt gekarakteriseerd door zowel energie als golflengte. De methoden om deze straling te meten berusten op één van deze beide parameters, zoals we hierna zullen zien.

De *golflengtedispersieve spectrometrie* (WDS) is de oudste van de twee röntgenmicro-analysetechnieken en gebruikt een kristal en een telbuis. Het kristal, dat gekozen wordt afhankelijk van de elementen die we willen meten, dient om de straling te focuseren op de telbuis. Deze telbuis is meestal een gastelbuis, waarin door de te meten straling ionisaties worden opgewekt waardoor de buis elektrische pulsen afgeeft. Het aantal pulsen per tijdseenheid is een maat voor de hoeveelheid straling en ook voor de hoeveelheid van het in het monster aanwezige chemisch element. De reflectie aan het kristal is onderworpen aan de

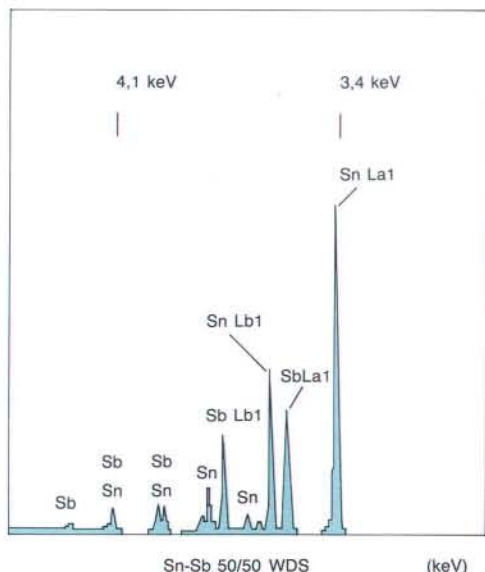
wet van Bragg en luidt $n\lambda = 2d \sin \Theta$, waarin: n = natuurlijk getal; λ = golflengte; d = roosterafstand van het kristal en Θ = hoek tussen invallende straling en kristal.

Om nu de verschillende golflengten te kunnen meten, moet de hoek tussen de invallende straling en het kristal voortdurend worden gewijzigd, waarvoor een zeer ingewikkelde mechanische constructie dient. We kunnen daarbij echter steeds één golflengte tegelijk meten. Willen we verschillende elementen tegelijk meten dan hebben we meer dan één spectrometer nodig.

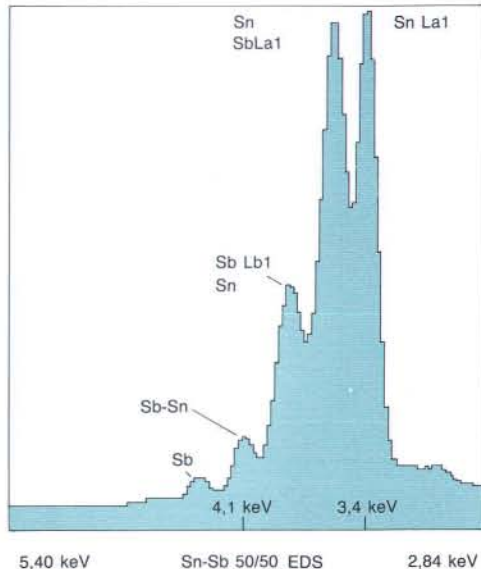
De *energie dispersieve spectrometer* (EDS) is van recentere datum en van een totaal andere constructie. Hierbij maken we gebruik van een Si(Li)-kristal, een halfgeleiderkristal van silicium dat met lithium is verontreinigd. Wanneer op dit kristal straling valt, zullen hierin ionisaties optreden waardoor pulsen worden afgegeven. Een veelkanaalsanalysator zorgt ervoor, dat deze pulsen worden gerangschikt naar hun energie. Hierdoor kunnen we een energiespectrum maken dat meteen een indruk geeft van de in ons monster aanwezige elementen. Deze methode noemen we daarom ook wel multi-elementanalyse methode.

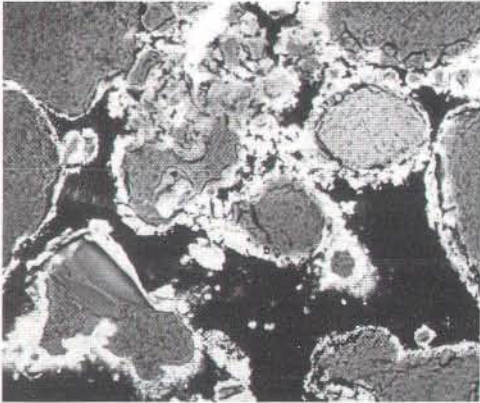
De twee methoden, WDS en EDS, worden vaak naast elkaar gebruikt, omdat ze beide hun voor- en nadelen hebben.

9

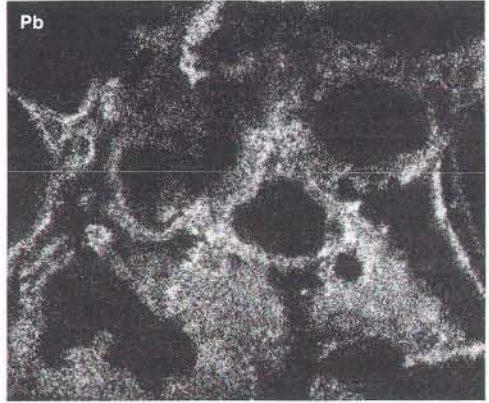


10

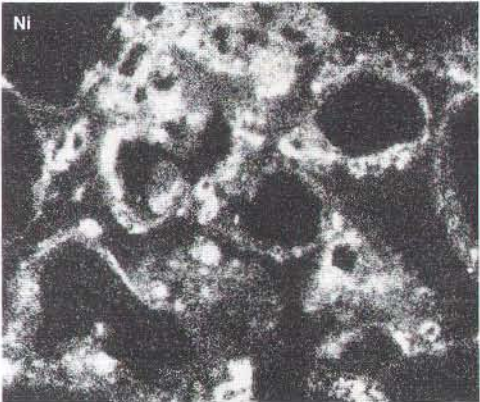




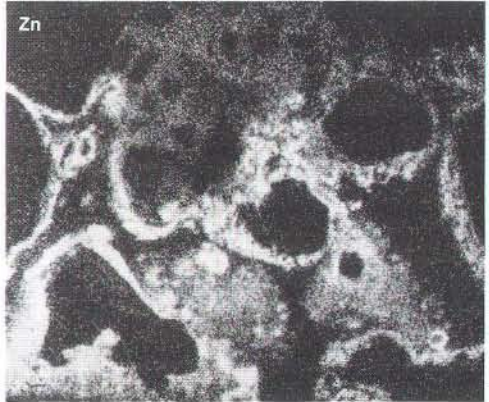
11



12



13



14

9 en 10. WDS en EDS uitgevoerd op hetzelfde monster, een mengsel van tin en antimoon. Duidelijk komt hier naar voren dat WDS een scherpere scheiding van de signalen oplevert. In EDS kunnen echter in één meting meerdere elementen worden gemeten, WDS heeft weer tot voordeel dat ook lichtere elementen nog waarneembaar zijn.

11, 12, 13 en 14. Verontreinigde grond is hier gemeten met röntgenmicroanalyse. De techniek is goed te combineren met elektronenmicroscopie door de elektronen te gebruiken als stralingsbron en de opgewekte röntgenemissie van het monster te analyseren. Die bevat specifieke en plaatsafhankelijke informatie over de elementen in het monster. Uitgaande van een slijpplaat (8), een dunne doorsnede van een bodemonster, is eerst van het verdachte gebied in de zwarte band een normale elektronenmicroscopische opname gemaakt (11). Daarna is aan hetzelfde monster door detectie van de röntgenemissie de verdeling van de elementen lood (12), nikkel (13) en zink (14) bepaald. De lichte gebieden geven hoge concentraties weer. De verontreiniging ligt vooral in een laagje rond de zandkorrels, die 0,1 tot 0,3 mm groot zijn. De slijpplaat (8) was op ware grootte afgebeeld.

Bij het WDS-systeem hebben we een gevoeligheid in de orde van 10^{-4} eV en een oplosend vermogen van 10 eV, waardoor we pieken die dicht bij elkaar liggen nog van elkaar kunnen scheiden. Voor EDS liggen deze waarden op respectievelijk 10^{-3} en 150 eV, dus veel ongunstiger. Daarentegen kunnen we wel alle elementen tegelijk meten en is het ook een veel snellere methode. Bij hoge concentraties is deze methode dus aan te bevelen. Een ander belangrijk verschil is nog dat we voor WDS gepolijste preparaten nodig hebben en voor EDS niet. EDS is daarom bijvoorbeeld bijzonder geschikt voor inbouw in de rasterlektronenmicroscopie, omdat daarin juist dikwijls ruwe oppervlakken worden bekeken.

Bij een EDS-systeem bevindt zich een dun beryllium venster tussen de te meten straling en de detector. Hierdoor wordt de zachte straling van de lichte elementen geabsorbeerd en is

Na ($Z = 11$) het lichtste element dat we kunnen meten. Bij WDS ligt dit veel gunstiger en ligt de ondergrens bij Be ($Z = 4$). Tegenwoordig zijn er EDS-systemen met 'ultra thin window' (UTW) of zelfs 'windowless' detectoren, waardoor de eerder genoemde bezwaren enigszins teniet worden gedaan.

AES en ESCA

Bij röntgenmicroanalyse (RMA) loopt men vaak tegen grenzen op. In de meeste gevallen gaat het om de gevoeligheid, maar ook wanneer men ultralichte elementen of chemische verbindingen wil meten, laat de RMA ons in de steek. We zijn dan gedwongen om te zien naar alternatieve methoden.

Een aan RMA verwante techniek is de Auger-elektronenspectroscopie (AES), zo genoemd naar de ontdekker van het Auger-elektron, Pierre Auger, die in 1925 voor het eerst de sporen hiervan in een Wilsonkamer observeerde en het proces ook wist te verklaren. Het principe van deze techniek is dat een monster wordt beschoten met elektronen met een energie van 1 tot 10 keV, waarbij deze elektronen tot een diepte van ongeveer $1 \mu\text{m}$ in het monster doordringen. Net als bij RMA wordt een elektron uit de K-schil weggeschoten waarbij de vacante plaats wordt ingenomen door een elektron uit de L-schil. De hierbij vrijkomende energie wordt nu niet in de vorm van elektromagnetische straling uitgezonden maar als een Auger-elektron, dat uit de L_2 -schil afkomstig is. De energie hiervan is ook weer karakteristiek. Door de lage energie van deze Auger-elektronen is hun vrije weglengte in het monster zeer kort en AES is daardoor een echte oppervlakte-analysetechniek. De analyse diepte bedraagt 1 tot 2 nm. De energie van dit Auger-elektron is

$$E_{KL_1L_2} = E_K - E_{L_1} - E_{L_2}$$

De gevoeligheid van AES is vergelijkbaar met RMA, de laterale resolutie is minder goed, maar we kunnen daarbij ultralichte elementen meten tot Li ($Z = 3$). Een nadeel is dat niet-geleidende monsters soms geladen raken, wat problemen geeft bij de meting. Bij RMA wordt dit probleem ondervangen door vooraf een laagje geleidend materiaal op het monster te dampen, maar bij AES kan dat niet omdat het een echte oppervlaktechniek is. Combina-

tie met een rasterelektronenmicroscop is heel goed te realiseren, waardoor men ook tegelijkertijd RMA en AES op precies hetzelfde gebied kan uitvoeren.

Is het met AES slechts mogelijk om chemische elementen te detecteren, met ESCA (Electron Spectroscopy for Chemical Analysis) kunnen we ook informatie verkrijgen over de bindingstoestand van atomen. Deze methode, die veel ouder is dan de AES-techniek, berust op het foto-elektrisch effect, dat in 1887 werd ontdekt door Hertz. Zowel bij AES als ESCA wordt de energie van vrijkomende elektronen gemeten, maar in het eerste geval worden deze opgewekt door snelle elektronen en in het tweede geval door röntgenstralen. Daarom wordt ook vaak de naam XPS (X-ray Photon Spectroscopy) gebruikt. Beide methoden zijn complementair en worden dan ook vaak in combinatie gebruikt. In een ESCA-spectrum kunnen ook Auger-pieken voorkomen. Als nadeel van ESCA kan worden genoemd de slechte laterale resolutie, die wel 1 cm kan bedragen. Bij de nieuwste ontwikkelingen worden echter veel gunstiger waarden verkregen die in het μm -bereik liggen.

De toepassingen van beide genoemde technieken liggen op het gebied van de microelektronica, de metallurgie, de polymeerchemie, het corrosieonderzoek en de bodemkunde.

15



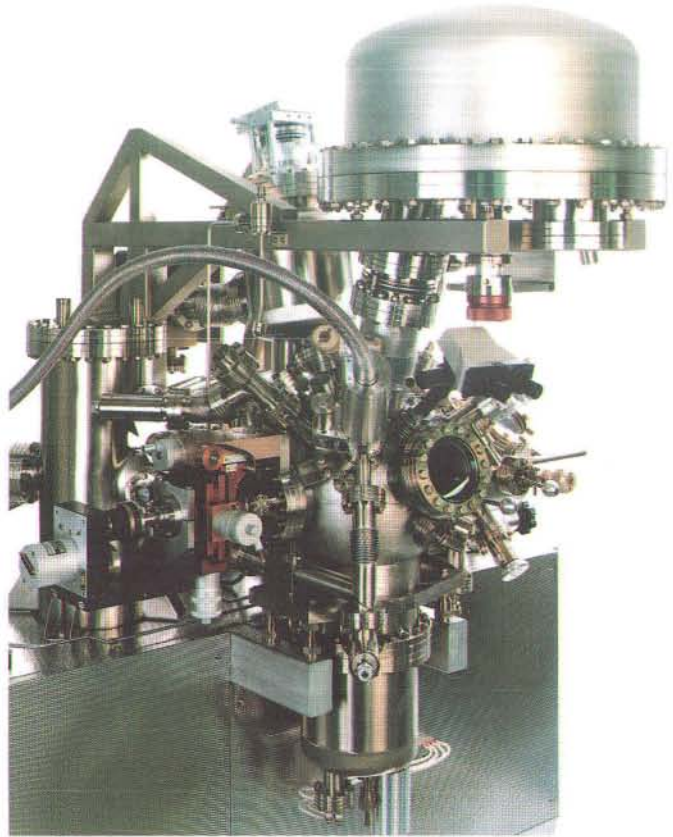
16



15 en 16. Twee opnamen van dezelfde plaats van een halfgeleider. Boven is het siliciumsignaal weergegeven, de afbeelding daaronder toont de plaats waar aluminium zit. Het beeld is opgenomen met een SIMS die plaatsafhankelijk kan meten.

17. Een Auger-elektronenspectrometer, gecombineerd met een scanning elektronenmicroscop. De versnelde elektronen komen van boven uit de brede kolom. In de rechteronderhoek zijn de knoppen voor de preparaatbeweging te zien. Het kastje rechtsachter bevat elektronica van de Auger-elektronendetector.

18. Moderne analyse-apparaten zijn stuk voor stuk staaltjes van hoogwaardige toepassingen van vacuümtechniek en fijnmechanica. Op deze foto een ESCA-machine. Het monster ligt in de bol-met-kijkglas. Dat is ook het 'hart' van de machine. Röntgenbron, elektronendetectors, preparaatwisselaars en -positioneers komen daarin uit.



18

17



PIXE en synchrotronstraling

Een ander alternatief is PIXE (Particle Induced X-ray Emission). De apparatuur hiervoor heeft totaal andere afmetingen dan de bovengenoemde en verschilt ook zeer sterk in bouw. Bij PIXE gebruikt men protonen met een zeer hoge energie (1-3 MeV) die in een Van der Graaff-generator of een cyclotron moeten worden versneld. Deze protonen laat men botsen met het monster, waardoor op dezelfde wijze als bij RMA weer een karakteristiek röntgenspectrum wordt verkregen. Voor detectie gebruikte men tot nu toe EDS-systemen, maar WDS is in principe mogelijk.

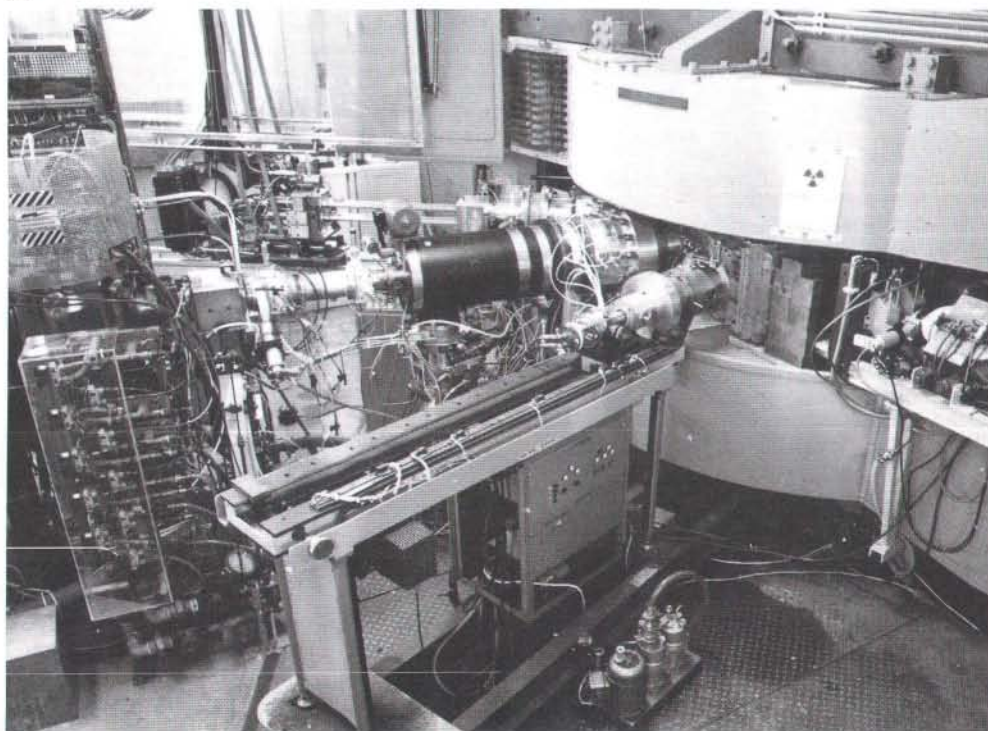
Wanneer we een spectrum afkomstig van PIXE bestuderen is het eerste wat ons opvalt de lage achtergrondstraling, afkomstig van de hoge energie van de primaire straling. De pieken die ontstaan zijn dus nagenoeg nettopie-

ken, waardoor kwantificatie zeer eenvoudig wordt. Door deze hoge energie kunnen we ook relatief dikke monsters analyseren tot een dikte van 200 μm . Een nadeel van PIXE is, dat we slecht kunnen lokaliseren en dat de bundeldiameter relatief groot is. De kleinste tot nog toe bereikte diameters zijn 1-2 μm . Bij de zeer kleine bundeldiameters kan er aan het monster stralingsschade optreden, omdat we met protonen schieten. Naast PIXE kennen we ook nog SPIXE (scanning PIXE). Hierbij is het mogelijk om verdelingsbeelden te maken van een bepaald element. Deze beelden zijn opgebouwd uit puntanalyses, hun opbouw is zeer tijdrovend. De laterale resolutie is vrij slecht. Het is echter wel een methode om 'mapping' uit te voeren met een zeer hoge gevoeligheid.

Synchrotronstraling is een type straling dat tegenwoordig voor vele typen onderzoek wordt gebruikt. Vroeger was het een hinderlijk bijverschijnsel van synchrotrons, tegenwoordig wordt er een nuttig gebruik van gemaakt. Een synchrotron is een cirkelvormige deeltjesversneller, gebruikt voor kernfysisch onder-

zoek, waarin elektronen worden versneld tot relativistische snelheden, dus snelheden die de lichtsnelheid zeer dicht benaderen. Doordat deze deeltjes gedwongen een cirkelbaan beschrijven, worden ze in de bocht steeds afgeremd, waardoor de zogenaamde synchrotronstraling (SR) ontstaat. Dit is een zeer intense elektromagnetische straling met een continu karakter waarvan de golflengten lopen van 0,001 - 100 nm, dus van röntgenstraling tot in het UV. Met monochromatoren kan een gedeelte van dit spectrum worden uitgefilterd en staat dan tot onze beschikking voor analyse-doelinden. Met lenzen van speciale materialen kunnen we deze straling ook nog focuseren. Wanneer we monsters met synchrotronstraling bestralen, treden fluorescentievervalsingen op, we spreken dan ook over SR-XRF (Synchrotron Radiation X-Ray Fluorescence). Dit type analyse is weer enigszins te vergelijken met PIXE, maar heeft als belangrijkste voordeel dat de preparaatbeschadiging veel kleiner is, terwijl bundeldiameters van 1 - 2 μm mogelijk zijn.

19



Het gebruik van ionen

Van geheel andere aard is onderzoek met ionen, waarvan de belangrijkste representant de SIMS-techniek (Secondary Ion Mass Spectrometry) is. Hierbij wordt een monster in ultrahog vacuum (10^{-8} Pa) beschoten met bijvoorbeeld argon-ionen met een energie van 3 tot 15 keV. Hierdoor treedt aan het oppervlak erosie op waarbij materiaal van het monster weggeschoten wordt, gedeeltelijk in de vorm van ionen. Dit zijn de secundaire ionen uit de term SIMS. Het is een destructieve techniek en de metingen kunnen niet herhaald worden. De meeste deeltjes zijn ongeladen, slechts een fractie hiervan (1/1000 deel) wordt uitgezonden als positieve of negatieve ionen. Scheiding van deze ionen vindt daarna plaats in een massaspectrometer. In principe bevat dit spectrum kwantitatieve informatie over het monster, maar echte kwantificatie van de elementen is bij SIMS erg moeilijk.

Door het continu bombarderen van het monster met primaire ionen en een continue

registratie van een bepaalde massa-eenheid, kan het concentratieverloop in de diepte worden verkregen. Daarbij ontstaat een diepteprofiel. Deze techniek wordt veel toegepast bij corrosieonderzoek of het onderzoek van halfgeleiders waarbij implantatie van vreemde ionen heeft plaatsgevonden in een Si-kristal.

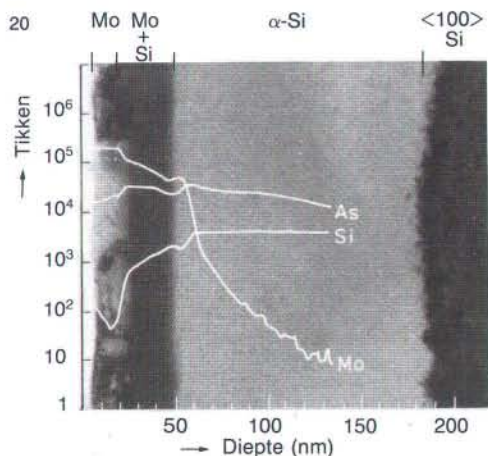
De interpretatie van een massaspectrum wordt vaak bemoeilijkt doordat vele ionen als twee- of drieatomig (di- of trimeren) of als atoomgroepen (clusters) worden uitgezonden. Bij dit werk speelt ervaring dan ook een belangrijke rol.

Bij SIMS maken we nog onderscheid tussen statische en dynamische SIMS. Bij de eerste wordt ook chemische informatie verkregen, terwijl dynamische SIMS alleen informatie geeft over de elementsamenstelling. Bij dynamische SIMS is mapping mogelijk.

Voor de primaire bundel worden verschillende soorten ionen gebruikt van gassen als O_2 , N_2 en Ar. Deze ionen kunnen positief of negatief worden geladen. Bij het moderne SIMS-onderzoek wordt echter hoe langer hoe meer gebruik gemaakt van Cs-bronnen of 'liquid metal ion guns' (LMIG). Cs is vooral nuttig wanneer men een hoge opbrengst aan negatieve secundaire ionen wil hebben. LMIG's zijn aantrekkelijk omdat ze fijne bundels mogelijk maken. Daardoor zijn er grote vorderingen gemaakt op het gebied van de laterale resolutie en waarden beneden de $1 \mu m$ zijn thans mogelijk.

Het grote voordeel van SIMS ten opzichte van andere analysetechnieken is, dat men alle elementen van het periodieke systeem, inclusief waterstof, kan meten met een zeer hoge gevoeligheid tot in het ppm- of soms zelfs ppb-bereik. Het is ook mogelijk om al deze elementen in kaart te brengen door het maken van elementverdelingsbeelden.

Kwantificatie is bij SIMS alleen mogelijk wanneer er goede standaarden zijn. Bij inhomogene materialen is dit een enorm probleem. Het maken van goede standaarden is bij deze techniek dan een moeilijke zaak. Andere mogelijkheden zijn berekeningen aan de hand van modellen. Een ander nadeel van SIMS is, dat bij onderzoek van nietgeleidende monsters het oppervlak opgeladen wordt, hetgeen de analyse onmogelijk maakt. Er zijn echter verschillende kunstgrepen om hierin verbetering te brengen. Ondanks deze laatste bezwaren mag



19. Een opstelling voor PIXE-metingen aan de Technische Universiteit Eindhoven.

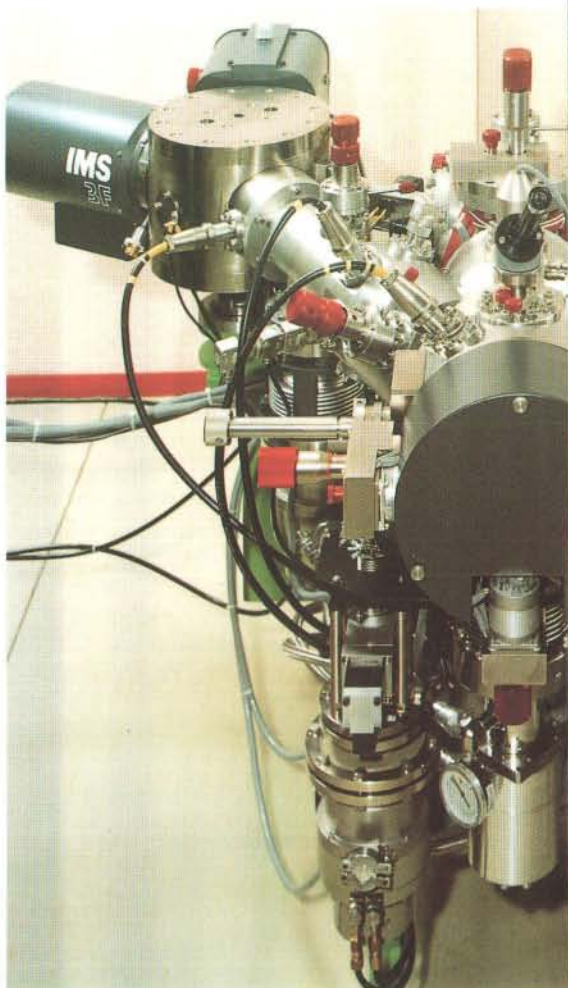
20. Een elektronenmicroscopische opname van een dwarsdoorsnede van een siliciumschijfje, met daarop een molybdeenlaagje, waarin door het bombarderen van het materiaal met arseenionen het molybdeen in het silicium is geïmplant. Over de EM-foto is een SIMS-diepteprofiel geprojecteerd. De horizontale as geldt zowel voor de foto als voor de grafiek. De afnemende concentratie molybdeen (Mo) in de siliciumlaag is zichtbaar. De concentraties arseen (As) en silicium (Si) zijn eveneens weergegeven.

SIMS zich verheugen in een toenemende belangstelling, vooral van de zijde van de halfgeleideronderzoekers. De ontwikkelingen volgen elkaar in hoog tempo op en op dit gebied staat ons nog veel te wachten.

Lasertechnieken

Ook op analysegebied schakelt men de laser graag in. Het eerste apparaat dat hiermee werd uitgerust was de LMA (Laser Microspectral Analyzer). Dit apparaat werd in Oost-Duitsland ontwikkeld en bestaat uit een lichtmicroscoop voor opvallend licht, een laserbron en een spectrograaf. Door de laserbundel wordt een krater met een diameter van $100\text{ }\mu\text{m}$ en een diepte van soms wel $500\text{ }\mu\text{m}$ in het monster gebrand waardoor een bepaalde hoeveelheid monstermateriaal verdampt die daarna met de spectrograaf wordt geanalyseerd. Hierbij kunnen niet alleen elementen maar ook chemische verbindingen worden gemeten. De laterale resolutie was echter zeer matig terwijl de gevoeligheid erg tegenviel.

Bij de meer geavanceerde technieken wordt voor de analyse van het verdampte materiaal een TOF (Time Of Flight) massaspectrometer gebruikt. Als laser wordt hierbij een gepulste Nd-YAG-laser toegepast die straling levert met een golflengte van 265 nm (UV). Van dit apparaat, een LIMS (Laser Ion Mass Spectrometer), bestaan thans twee uitvoeringen. Het eerste type is alleen geschikt voor coupes met een dikte van ongeveer $5\text{ }\mu\text{m}$. De massaspectrometer bevindt zich hierbij achter het prepa-

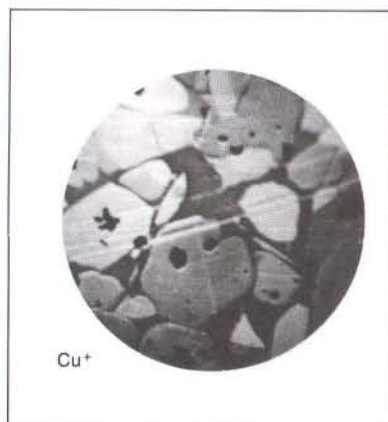


21

22



23



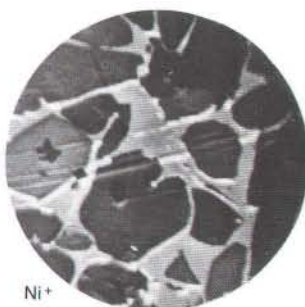
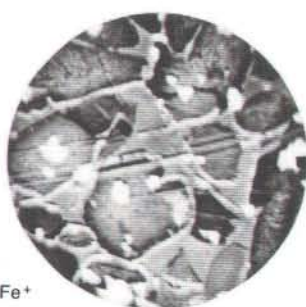
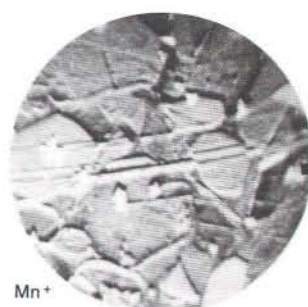
21 en 22. Secondary Ion Mass Spectroscopy (SIMS) is een techniek waarmee heel goed diepteprofielen tot enige honderden nanometers in een materiaal te maken zijn. Voor het maken van diepteprofielen worden de preparaten gebombardeerd bijvoorbeeld met primaire argon-ionen waardoor uit het getroffen materiaal ionen vrijkomen die geanalyseerd worden in een massaspectrometer. De apparatuur waarmee ook tweedimensionale verdelingen van elementen in het oppervlak van een materiaal te meten zijn is de afgelopen jaren sterk verbeterd. Een laterale resolutie van 5 tot 50 μm is mogelijk, sind kort is een bundeldiameter van 0,1 μm mogelijk. Hiermee kan bijvoorbeeld de opbouw van submicronchips gecontroleerd worden.

23. De elementverdeling in een polykristallijne metaallegering is hier vastgelegd met een SIMS waarin de lokalisatie van de secundaire ionen tijdens de vlucht door de massaspectrometer bekend blijft door het gebruik van ionen-optische lenzen. Analooq aan de lichtmicroscopie kan zo dus een vergroot, massagescheiden beeld van een oppervlak verkregen worden. De resolutie hangt nu niet af van de bundeldiameter van de opvallende primaire argon-ionen, maar van de kwaliteit van de ionenoptiek, waarbij een resolutie van 0,5 tot 1,0 μm mogelijk is. De diameter van de beelden is steeds 150 μm en laat het oppervlak zien in het 'licht' van de secundaire ionen Cu, Ni, Fe en Mn. Een lichte kleur geeft hier een hoge concentratie van het element aan.

raat. De laterale resolutie is circa 1 μm . De lokalisatie is vrij moeilijk omdat we met ongekleurde coupes werken in een lichtmicroscopie. Naderhand kan in een transmissie-elektronenmicroscopie de plaats van de analyse nauwkeuriger worden bepaald. De uitvoering voor vaste (bulk)preparaten is analoog, alleen bevindt de massaspectrometer zich hier aan dezelfde zijde van het preparaat als de laserbundel. Het scheidend vermogen over het oppervlak is circa 5 μm .

LIMS heeft ten opzichte van SIMS het voordeel dat de laserbundel ongeladen is, zodat onderzoek van nietgeleidende monsters geen problemen oplevert. Het geanalyseerde volume is bij LIMS echter beduidend groter dan bij SIMS, waardoor deze laatste techniek een belangrijke voorsprong heeft ten opzichte van LIMS.

Een andere toepassing van de laser is de Laser Raman Microprobe (LRM), waarbij Ramanspectroscopie wordt toegepast met behulp van een laser. Ramanspectroscopie is gebaseerd op het Ramaneffect, dat door Sir C.V. Raman in 1928 werd ontdekt en waarvoor hij in 1930 de Nobelprijs voor Natuurkunde kreeg. Hierbij wordt monochromatisch licht in het zichtbare gebied verstrooid door molekulen, waarbij een gedeelte van het verstrooide licht van frequentie (kleur) verandert door interactie met moleculaire vibraties. Deze frequentieverandering is specifiek voor de betreffende vibratie waarbij verschillende chemische bindingen (bijv. C-O, C=O, C-H) verschillende vibraties hebben. Door lightspectroscopie

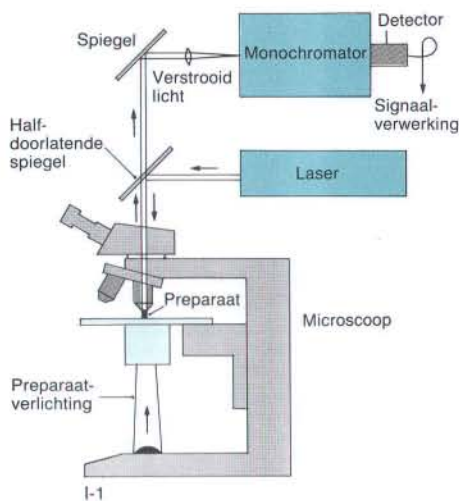
Ni⁺Fe⁺Mn⁺

Raman microspectroscopie

Raman microspectroscopie maakt gebruik van een monochromatische laserbundel welke door een microscoopobjectief tot een uiterst klein lichtpuntje van enkele micrometers gefocuseerd wordt op een preparaat. In dit lichtpuntje wordt licht verstrooid dat weer door het objectief opgevangen en naar een spectrograaf geleid wordt (zie afb. 1-1). Door de wisselwerking van het laserlicht met de moleculaire trillingen krijgt een zeer kleine fractie van het verstrooide licht een andere frequentie en dus een andere kleur. Dit is de zogenaamde Ramanverstrooiing. De kleurveranderingen zijn karakteristiek voor het betreffende molecuul en op de geschetste wijze is een niet-destructieve chemische analyse op micrometerschaal uit te voeren.

Het Ramanverstrooide licht is zo'n 100 miljard maal zwakker dan het opvallende laserlicht. Derhalve is een speciale spectrograaf nodig om het laserlicht en het Ramanlicht te scheiden en het Ramanspectrum via een zeer gevoelige detector, bijvoorbeeld een fotomultiplier of een moderne multikanaaldetector, te meten. Daaruit is dan de moleculaire samenstelling te bepalen.

In de groep Biofysische Techniek van de afdeling der Technische Natuurkunde van de TU Twente wordt deze techniek voortdurend verder ontwikkeld en worden nieuwe toepassingen gezocht. De methode wordt vooral toegepast op



preparaten als ooglenzen met staar, chromosomen, proteïnen, tandmateriaal, organische stoffen in bodemonsters en dergelijke.

Een voorbeeld uit de pathologie wordt gegeven in afb. 1-2. Daar is de samenstelling bepaald van een lichaamsvreemd deeltje met een doorsnede van 3 μm in een longweefselcoupe van een patiënt met silicosis (stoflongen). Uit deze samenstelling (calciet, CaCO_3) kan de oorzaak van de ziekte achterhaald worden.

pie kan men dus op niet-destructieve wijze een chemische 'vingerafdruk' van het preparaat verkrijgen.

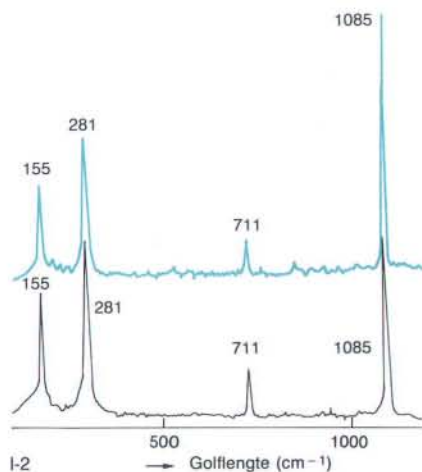
Bij de Laser Raman Microprobe maakt men gebruik van een laserbundel die door een microscoopobjectief gebundeld wordt tot een diameter van 1 à 2 μm . Ditzelfde objectief wordt gebruikt om op efficiënte wijze het verstrooide licht op te vangen en door te sturen naar een monochromator en een detector waardoor op micrometerschaal een Ramanspectrum kan worden opgenomen.

De LRM heeft een aantal aantrekkelijke voordelen boven andere analysetechnieken. In de eerste plaats is het één van de weinige technieken die ons informatie geeft over de chemische bindingen in het preparaat. Een ander voordeel is dat men niet in vacuüm hoeft te

werken en dat het preparaat geen enkele voorbereiding vereist. De laterale resolutie is vrij goed (1 tot 2 μm). Bovendien is het geen kostbare methode. De detectiegrens is echter matig. Het toepassingsgebied is vrij universeel en ligt vooral in de biologie en de medicijnen, waarbij men vaak te maken heeft met vrij gecompliceerde organische verbindingen.

Slotbeschouwing

Hier is slechts een tamelijk willekeurige greep gepresenteerd uit de veelheid van thans bestaande analysetechnieken. Dit aantal zal in de loop der jaren nog toenemen, terwijl bestaande technieken zullen worden verbeterd. Hierbij zullen de methoden voor oppervlakteanalyse een overheersende rol spelen.



I-1. Principeschets van de opstelling van een Ramanmicroscop. Tijdens het opnemen van een Ramanspectrum is de preparaatverlichting uit.

I-2. Ramanspectrum van een insluitsel ($3 \mu\text{m}$) in longweefsel (A) en een referentiespectrum van calciëet, CaCO_3 (B).

G. Gijsbers
TU Twente

Bij de vraag welke methode voor een bepaald probleem de voorkeur verdient zal men niet alleen moeten letten op de mogelijkheden van een bepaalde analysemethode, maar ook op de beschikbaarheid van apparatuur. De meeste hier genoemde analysemethoden vergen een investering van 1 à 2 miljoen gulden. Dit is in veel gevallen een beperkende factor. Daarnaast vraagt de interpretatie van meetgegevens veel kennis en ervaring wanneer men van deze apparatuur een optimaal gebruik wil maken. Als men echter over de nodige hardware en know how beschikt zal er veel kunnen worden bereikt. Dat kan in hoge mate bijdragen aan de verdere ontwikkelingen van analysetechnieken, vooral op technologisch gebied, die overigens een razendsnelle ontwikkeling doormaken.

Dit artikel is het slot van een serie over analytische chemie. Bij de samenstelling van de serie kreeg de redactie hulp van prof dr U.A.Th. Brinkman, vakgroep Algemene en Analytische Chemie, VU Amsterdam en van drs J. Bouma, Chemiedidactiek, VU Amsterdam.

Lijst van gebruikte afkortingen

AES	= Auger electron spectroscopy
EDS	= Energy dispersive spectroscopy
EMA	= Electron microprobe analysis
ESCA	= Electron spectroscopy for chemical analysis
LIMS	= Laser induced mass spectroscopy
LMA	= Laser microspectral analysis
LRM	= Laser Raman microprobe
PIXE	= Particle induced X-ray emission
RMA	= Röntgen microanalysis
SIMS	= Secondary ion mass spectroscopy
SPIXE	= Scanning particle induced X-ray emission
SRXRF	= Synchrotron radiation X-ray fluorescence
WDS	= Wavelength dispersive spectroscopy
XPS	= X-ray photon spectroscopy

In deze serie verschenen eerder:

Chemische analysemethoden, inleiding, november 1984.
UV/VIS, januari 1985.
IR/Fluor, februari 1985.
NMR/ESR, maart 1985.
Atoomspectrometrie, mei 1985.
Massaspectrometrie, juni 1985.
Chromatografie, inleiding, oktober 1985.
Gaschromatografie, december 1985.
Hoge-drukchromatografie, februari 1986.
Elektrochemische analyse, april 1986.
Chemometrie, september 1986.
Activeringsanalyse, januari 1987.

Literatuur

Anderson CA (ed.) Microprobe analysis. New York: John Wiley & Sons, 1973.
Czanderna AW (ed.) Methods of surface analysis. New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1975.
Seiler H. Abbildung von Oberflächen mit Elektronen, Ionen und Röntgenstrahlen. Mannheim: Bibliografisches Institut, 1968.

Bronvermelding illustraties

Leybold-Heraeus GmbH, Köln, BRD: pag. 478-479.
Ann Ronan Picture Library, Taunton, Engeland: no 1 en 2.
Ir D. Schalkoord, Technische Universiteit Delft: no 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10 en 19.
Dr E.B.A. Bisdorn, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen: no 8, 11, 12, 13 en 14.
V & G Instruments BV, Weesp: no 15, 16 en 18.
JEOL Europe BV, Schiphol-Oost: no 17.
Drs P.R. Boudewijn, Philips Natlab, Eindhoven: no 20 en 23.
Cameca, Thomson-CSF Elektronik, Koblenz: no 21 en 22.



F. Van Noten

*Koninklijk Museum voor Midden-Afrika
Tervuren*



Nieuwe loten aan de evolutiestruik **BODO en WT 15000**

Verleden zomer maakten de media, net als in de zomers van 1984 en 1985, melding van spectaculaire vondsten in verband met het ontstaan van de mens. De berichten kwamen uit Afrika. De wetenschap van de menselijke paleontologie moet deze nieuwe ontdekkingen inpassen in het daardoor steeds wijzigende stramien dat de evolutie van de mens beschrijft. Wij geven hier een schets van wat stilaan tamelijk algemeen aanvaard wordt. Daarna trachten we de nieuwe ontdekkingen een plaats te geven in de 'boom van de evolutie', die trouwens steeds meer op een 'evolutiestruik' lijkt.

Het gebied rond het Turkana-meer, in het noorden van Kenya, grenzend aan Ethiopië, is een beroemde vindplaats van fossielen. Miljoenen jaren oude lagen komen er door nog voortgaande diepe erosies weer aan de oppervlakte. Duidelijk zijn in de hellingen de verschillend gekleurde sedimentlagen te zien.

Het nieuws begint bij onze verste voorouders. De 14 tot 18 miljoen jaren oude Aziatische *Sivapithecus* en *Ramapithecus* raken wat uit de gratie en komen mogelijk niet langer in aanmerking als eventuele voorouders van de hominiden, de mensachtigen. De Afrikaanse *Kenyapithecus* die men in de jaren zestig en zeventig de wereld instuurde als een nieuw geslacht, en later als een soort van *Ramapithecus*, bleek geen van beide te zijn. Ook hij is

waarschijnlijk geen voorouder van de hominiden. Mogelijk is *Kenyapithecus* een voorouder van tegenwoordig nog voorkomende Afrikaanse apen. Dit alles blijkt uit recent veldwerk van Martin Pickford. De gevonden *Kenyapithecus* is vijftien tot zestien miljoen jaar oud, wellicht leefde hij vóór de splitsing tussen de Afrikaanse mensapen en de mens.

Buiten de vondst van een *Australopithecus afarensis* in 1984 te Taborin in Kenya, in zo-wat 4,5 miljoen jaar oude sedimenten, hebben geen andere gegevens het grote tijdsgat van 10 miljoen jaren opgevuld waaruit nauwelijks vondsten bekend zijn. De Taborin-vondst is zelf van beperkte omvang, het is niet meer dan een sterk geërodeerd stuk kaak. We moeten dus voorzichtig zijn met conclusies.

Oudere vondsten

Lucy

In 1969 maakte Maurice Taieb een verkenningstocht in de Hadarstreek in Ethiopië. De sedimenten die hij uit geologisch standpunt onderzocht bleken ook rijk te zijn aan fossiele overblijfselen. Zijn ontdekkingen waren belangrijk genoeg om een internationale geologische en paleontologische expeditie naar de Hadar op touw te zetten. In 1974 ontdekte een lid van deze expeditie, Don Johanson, een bijna volledig skelet van een hominide. Deze kleine vrouw leefde 3 tot 3,5 miljoen jaren geleden en kreeg als *Lucy* wereldfaam.

Hoewel de ledematen van Lucy te vergelijken zijn met die van vroegere vondsten, vooral met de *Australopithecus africanus* van Sterkfontein, zijn er toch opvallende afwijkingen. Dit skelet, gecombineerd met de anatomische gegevens van Lucy's tijdgenoten die Mary Leakey in Laetoli (Tanzanië) had gevonden, liet toe een nieuwe, meer primitieve soort van de australopithecinen te definiëren. De



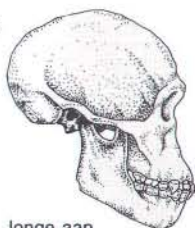
1



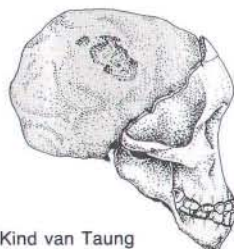
2

1 en 2. Lucy is de oudste tot nu toe gevonden hominide. Ze leefde ruim drie miljoen jaar geleden. Op basis van haar skeletdelen is een reconstructie gemaakt. Ze is ingedeeld als een *Australopithecus afarensis*.

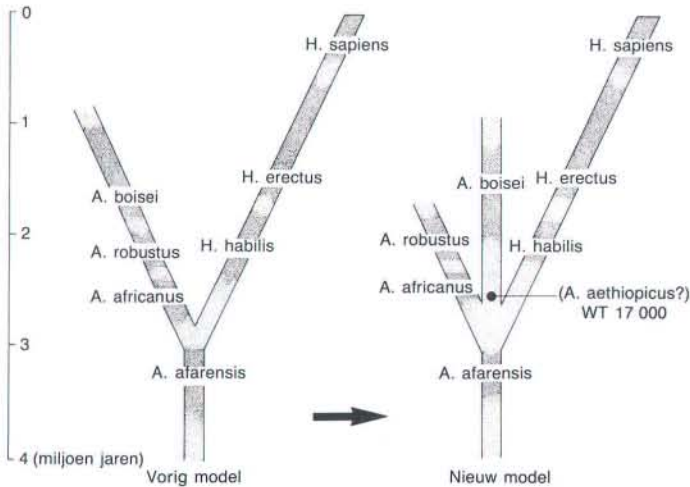
3



Jonge aap



Kind van Taung



4. Lange tijd is gedacht dat ergens na *A. afarensis*, dus na Lucy, *Homo habilis* en *A. africanus* aan de basis stonden van twee takken. Met de recente vondst van WT 17 000, die ook leefde ten tijde van *H. habilis* en *A. africanus* is vermoedelijk de definitie van een derde tak noodzakelijk geworden.

Australopithecus afarensis is tot nu toe de enige echte hominide, waarvan we zeker weten dat hij 3 tot 4 miljoen jaren geleden leefde. Het is mogelijk dat hij niet alleen een voorouder is van andere australopithecinen, maar ook van de *Homo habilis*. Aanhangers van deze opvatting denken dat de vertakking in de stamboom, waarbij *Homo habilis* ontstond 2 tot 3 miljoen jaren geleden optrad. Het staat vast dat de *Australopithecus africanus* en de *Homo habilis* 2 miljoen jaren geleden beide leefden.

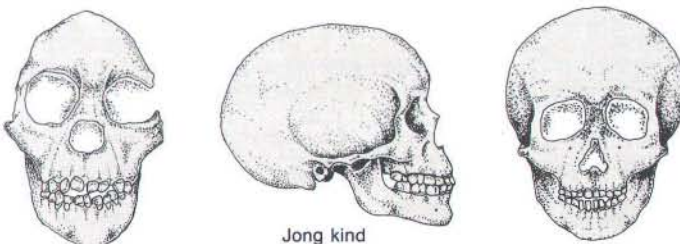
Wanneer had de splitsing tussen *Australopithecus* en *Homo* plaats? Of is de *Australopithecus afarensis*, met zijn sterk aapachtige trekken, misschien niet de voorouder van de eerste *Homo*, maar alleen van *Australopithecus africanus*? In 1977 werden in de Hadar 20 skeletten te zamen aangetroffen. De groep wordt, omwille van de omvang, de eerste familie genoemd. Sommigen weigeren alle familieleden te rangschikken onder de ene noemer

van *Australopithecus afarensis*. Zij stellen dat de skeletten omwille van grote morfologische verschillen aan minstens twee verschillende soorten moeten hebben toebehoord. Daartegenover staat dat men deze verschillen ook door seksueel dimorfisme kan verklaren.

Algemeen wetenschappelijk aanvaard is tegenwoordig dat de evolutie naar de huidige mens *niet* gestart is met de verruiming van de hersenen. Eigenlijk was Lucy wat het hoofd betreft nog erg primitief. Wat het skelet van Lucy en de voetsporen van haar verwanten, die Mary Leakey in Laetoli vond, echter ten overvloede bewijzen is dat de *Australopithecus afarensis* op twee benen liep.

Taung

Een vijftigtal jaren vóór Lucy hadden veel hevigere controversen de wereld van de paleontologie door elkaar geschud. In 1924 kreeg Raymond Dart van een vriend in Zuid-Afrika een merkwaardige aapachtige schedel. Dart stelde



3. De schedel van het jonge kind Taung hier vergeleken met zijn vermoedelijke voorganger, een jonge aap en met zijn nakomeling in een zijtak, een jong kind. Oppervlakkig is er sprake van een ontwikkeling van aap via Taung naar de mens. Antropologen zijn het er nu eens dat Taung aan het begin van een doodlopende zijtak stond.

een snelle en verbluffende diagnose: dit was de schedel van een voorouder van de mens; de *missing link* tussen aap en mens was gevonden. Het merkwaardige is dat deze jonge arts meteen het belang zag van de kinderschedel op zijn studeertafel. De traditionele paleontologie had immers iets heel anders verwacht. Ten eerste had men altijd aangenomen dat de mens zijn oorsprong had in Azië. Dart noemde het kind van Taung *Australopithecus africanus*, naar het continent waar de schedel werd gevonden.

Nog meer dan de aardrijkskundige plaats van de vondst, wekte het geringe hersenvolume verbazing. Velen vonden toen dat de *Australopithecus* te veel op een aap leek, daar de algemeen geldende opinie de essentie van de mens in zijn denken situeerde. Het mensachtig karakter van de *Australopithecus* bleek uit de schedel, uit zijn typisch menselijk gebit en zijn rechte lichaamshouding.

Zinj

Een andere mijlpaal was de ontdekking door Mary Leakey in 1959 van *Dear Boy* (*Zinjanthropus*) in Olduvai (Tanzanië). Deze vondst kwam op een veel geschikter ogenblik dan het kind van Taung. De publieke opinie was in 1959 wel op een dergelijke vondst voorbereid. Wat vroeger als paleontologische kluif binnenskamers zou zijn gebleven, werd nu een populair gespreksonderwerp. De wereldpers noemde deze nieuwe *Australopithecus boisei* vanwege zijn enorme kiezen de 'Nutcracker man'. De show die de Leakeys rond hun ontdekking wisten te creëren had verderstrekkende gevolgen voor de menselijke paleontologie dan welke voorafgaande vondst dan ook had veroorzaakt. Veel primitieve trekken maken dat men Zinj tegenwoordig niet meer beschouwt als een rechtstreekse voorouder van de moderne mens. Hij zou behoren tot een doodlopende zijtak aan de evolutiestruik. Nader studie wees uit dat Zinj verwant kon zijn met vroegere vondsten uit Zuid-Afrika. Daar had men naast de lichte en slanke *Australopithecus africanus* ook de zwaardere, meer primitieve *Australopithecus robustus* gevonden.

Ook de datering van Zinj was van enorm belang aangezien hij 'pas' 1,8 miljoen jaren oud bleek te zijn. De 'living floor' waarop hij werd gevonden was archeologisch ook zeer belangwekkend (zie intermezzo).

Homo habilis

Vanaf 1961 kwamen in Olduvai botten aan het licht die veel menselijker leken dan Zinj. In overleg met Dart en Phillip Tobias besloten de Leakeys tot het creëren van een nieuwe soort: de *Homo habilis*, of handige mens. Inderdaad staat tot op de dag van vandaag geen van de oude hominiden zo dicht bij de moderne mens. Sedert zijn naamgeving in 1963 hebben andere vondsten de autonomie van deze soort bevestigd. Zo vond Richard Leakey in 1972 in Koobi Fora, Oost-Turkana (Kenya), de befaamde schedel '1470' en later de meer typische '1813'. Deze laatste schedel is waarschijnlijk



5

lijk van een vrouw geweest. Opvallend is dat er tot nu toe geen *Homo habilis* ouder dan 2 miljoen jaar ontdekt werd. Nochtans is het die oudere *Homo* waar de meeste paleontologen momenteel het ijverigst naar zoeken.

Homo erectus

Algemeen aanvaard is dat er vanaf tenminste twee miljoen jaren geleden een 'menselijk' soort hominide leefde en dat deze *Homo*, via overgangsvormen zoals de fijne '1813', geëvolueerd kan zijn tot de *Homo erectus*.

De oudste vertegenwoordiger van deze soort is het exemplaar '3733', dat in 1975 in Oost-Turkana werd gevonden en waarschijnlijk een vrouw is. De '3733' is gedateerd op 1,5 of misschien wel 1,6 miljoen jaar. Ook de *Homo erectus* bleek ouder dan verwacht.

5. Dear Boy, door Mary Leakey in Olduvai, Tanzania gevonden, is een *Australopithecus boisei* en waarschijnlijk geen voorloper van de mens. De schedel is daarvoor te breed en fors gebouwd.

6. De eerste *Homo Habilis* is enkele jaren na Dear Boy in Olduvai aan het licht gekomen. De schedels van afb. 5 en 6 zijn allebei tegen de twee miljoen jaar oud. *H. habilis* was de eerste hominide die als een echte voorouder van de moderne mens bestempeld kan worden.



6



7

7. *Homo erectus* is de meest directe voorloper van *Homo sapiens*. Afgebeeld is schedel 3733 die in Oost-Turkana is gevonden.

8. De familie Leakey speelt een grote rol in de vondsten van fossielen van onze voorouders. Twee generaties Leakey's zijn inmiddels in Kenya en Tanzania actief of actief geweest. Op de foto Louis en Mary Leakey met hun zoon Philip.

8



Gedragsarcheologie

Archeologen vinden in steeds oudere lagen aanwijzingen voor steenbewerking. Voor velen onder hen loopt de menswording parallel met het intellect en de handigheid die vereist zijn voor het vervaardigen en het gebruik van stenen werktuigen. Op basis van dit criterium is de *Homo habilis* de eerste die op het menszijn aanspraak kan maken. De mens is voor de archeologen echter meer dan *Homo faber*, de maker van werktuigen. De oudste aanwijzingen die men heeft dat de mens vaardigheden ontwikkelde, zijn enkele sporadische artefacten, mogelijk 2,5 miljoen jaar oud. Een verzameling van stenen artefacten noemt men een industrie als er vanuit archeologisch standpunt voldoende standaardisatie in de produktie wordt gevonden. De 'choppers' van de *Oldowan*-industrie, gevonden naast Zinj en de *Homo habilis*, en zowat 1,8 miljoen jaar oud, zijn in hun eenvoud karakteristiek genoeg. Het zijn keien waarvan enkele afslagen zijn afgeklopt om een scherpe punt of snede te verkrijgen. Ook de afslagen werden gebruikt.

Ongeveer 1,6 miljoen jaar geleden trad, naast de *Homo habilis*, de *Homo erectus* voor het voetlicht. Opvallend is dat, parallel hiermee, de steentechnologie grote vooruitgang boekte. Bed II in Olduvai toont een industrie die uit het *Oldowan* evolueerde tot *Developed Oldowan*. Belangrijk is dat rond deze tijd ook het hoger ontwikkelde Acheuleen verschijnt. Er bestaat een algemeen consensus om deze laatste industrie toe te schrijven aan de *Homo erectus*.

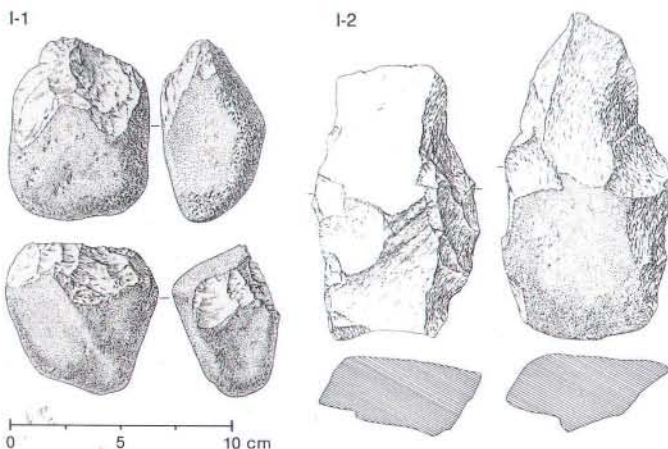
Oldowan en *Homo habilis*, Acheuleen en *Homo erectus*. De ontwikkeling van de morfologie

van de mens en van zijn werktuigen lijkt parallel te zijn verlopen. Naargelang de maker fysiologisch menselijker wordt, verbeterd ook de kwaliteit van zijn artefacten. En voor de prehistoricus wordt de graad van technologische verfijning van de werktuigen een indicator voor het culturele niveau van de maker. Hoewel deze theorie de archeologen nog stof voor discussie levert.

Mary Leakey merkte op dat er nooit een *Homo erectus* werd gevonden in associatie met *Developed Oldowan*. Zij is geneigd om deze industrie te omschrijven als verschillend van het Acheuleen en beschouwt het als het werk van een primitieve hominide. Daartegenover staat de mening van anderen die het *Developed Oldowan* niet beschouwen als een afzonderlijke industrie. Vermits beide industrieën in chronologisch identieke archeologische lagen werden aangetroffen, zou het *Developed Oldowan* deel uitmaken van het Acheuleen. De primitieve Oldowanwerktuigen zouden dan een aspect van het geheel van activiteiten binnen het Acheuleen zijn.

De archeoloog heeft moeilijkheden met de interpretatie van culturen, industrieën en activiteiten. Een bepaald industrietype vertegenwoordigt niet noodzakelijk één onderscheiden 'cultuur', maar kan de uiting zijn van een variant binnen een ruimere cultuur. Een specifiek geheel van werktuigen hoeft ook niet noodzakelijk het hele gamma van activiteiten van de auteurs van die cultuur weer te geven. Een bepaald ensemble van artefacten kan ook slechts één aspect van het dagelijks handelen tonen.

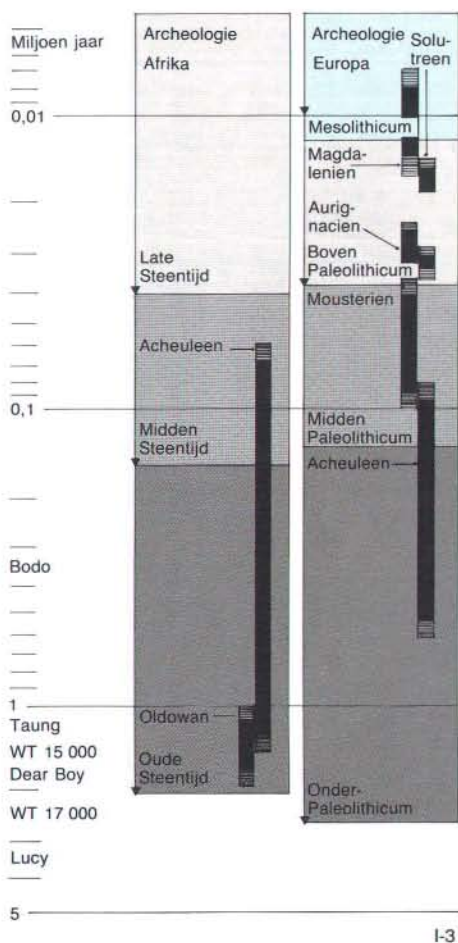
Sommigen vermoeden dat met de overgang van de *Homo habilis* naar de *Homo erectus* het sociale leven vorm kreeg. Het leven in groepsver-



I-1. Twee choppers, steeds in zij- en vooraanzicht. Deze eenvoudige werktuigen stammen uit het Oldowan. Ze werden meestal gemaakt van rollen uit de rivier omdat die goed in de hand liggen.

I-2. Klievers zijn karakteristiek, vooral voor het Acheuleen in Afrika. Het zijn afslagen van lava met een scherpe snede aan de top.

I-3. Een vergelijking van de archeologische perioden in Europa en Afrika.



band kan aanleiding gegeven hebben tot het organiseren van de gemeenschap. Te zamen met het gebruik van taal, noodzakelijk verbonden met organisatie, kon het zijn en handelen bewust worden. Mogelijk heeft de familie en de zorg voor de nakomelingen, met het doorgeven van vaardigheden van ouder naar kind, hier een rol gespeeld.

De vondsten van stenen artefacten laten ons toe te speculeren over het gebruik dat onze voorouders van deze werktuigen maakten. Een belangrijke maar sporadische activiteit was wellicht het villen van dieren die een natuurlijke dood waren gestorven of waren gedood door roofdieren. Daarnaast waren de stenen werktuigen een hulp bij het stukslaan van beenderen, het

snijden van vlees en het maken van houten gebruiksvoorwerpen.

Lange tijd was *living floor* in de archeologie een relatief probleemloos begrip. Daarmee bedoelde men een archeologisch niveau waarop men artefacten of restanten aantrof die de prehistorische mens op die plek had achtergelaten. Dikwijls werd zo een concentratie artefacten geassocieerd met een bepaalde handeling. Een hoop afslagen en onafgewerkte werktuigen wees op een atelier voor steenbewerking. Een karkas met werktuigen moest een slachtplaats geweest zijn. Waar naast dit alles haardresten, sporen van zitplaatsen of restanten van windschermen werden gevonden, had een kampplaats bestaan, een verblijfplaats met meerdere functies. Noodzakelijke voorwaarde om geldige conclusies te kunnen trekken is echter dat de restanten, na het vertrek van de mens, snel en liefst ongestoord toegedekt moeten zijn. De *tafonomie* bestudeert hoe dingen, beenderen en andere restanten, bedolven en gefossiliseerd raken. Zo denkt men nu dat meerdere archeologische niveaus die traditioneel als een *living floor* werden geduid 'natuurlijke' beenderassociaties zijn waar men niet de richtende hand van de mens in mag zien.

De bal ligt nu in het kamp van de archeologen. Zij moeten bewijzen dat de restanten, op één niveau gevonden, het resultaat zijn van menselijk ingrijpen. Voor de steenbewerking kunnen zij een beroep doen op een techniek die men *refitting* noemt. Werktuigen en steenafslagen worden weer in elkaar gepast en leveren het bewijs dat zij samen horen. Microscopische studie van snijsporen op been laat toe vast te stellen of er met een werktuig vlees van het bot werd gesneden.

Sommigen gaan verder en stellen de traditionele opvatting van de vroege mens als jager-verzamelaar in vraag. Zij zien deze misvatting onder meer ontstaan uit de vergelijking, te pas en te onpas, tussen de vroege hominiden en de moderne jagers-verzamelaars. Vooral de Bosjesmannen, toch *Homo sapiens sapiens* zoals wij, moeten het ontgelden en staan model voor de vermeende levenswijze van onze verre voorouders. Voor deze critici is er geen sprake van dat de vroege hominiden de capaciteiten, nodig om te jagen, hadden. Zij zouden daar niet de organisatorische kwaliteiten hebben gehad. Men denkt nu eerder dat onze voorouders alleseters waren, dat ze naast bessen en vruchten ook kleine dieren zoals hagedissen, kikkers, ratten, muizen, kameleons en padden vingen. Een groot dood dier zullen ze als aaseters hebben benaderd.

Er gaan nu meer en meer stemmen op om de *Homo erectus* als de rechtstreekse voorouder van de moderne mens te zien. Sinds enige tijd zijn ook de Neanderthalers ingelijfd bij de *Homo sapiens*. Samen met de echte moderne mens (*Homo sapiens sapiens*) bestaat nu de uitgesproken tendens eenzelfde toenadering te zoeken tot de *Homo erectus*.

Recente vondsten

De interesse werd de laatste jaren vooral toegespitst op sedimenten die ouder zijn dan twee miljoen jaar. In de periode tussen vier en twee miljoen jaar geleden denkt men nog de antwoorden te vinden op onbeantwoorde vragen over de relatie tussen de *Australopithecus afarensis* en de *Australopithecus africanus*. Daarnaast blijven er vragen over hun relatie tot de *Homo*. Sommige onderzoekers laten *Homo* rechtstreeks van de *Australopithecus afarensis* afstammen, anderen geloven in een veel oudere *Homo*-stam, onafhankelijk naast de *Australopithecus afarensis* ontwikkeld. Drie belangrijke vondsten kwamen de laatste jaren aan het licht: Bodo, WT 15 000 en WT 17 000. De eerste werpt een nieuw licht op het gedrag van de *Homo erectus*, de tweede is een prachtige illustratie van een *Homo-erectus*skelet, en de derde is een belangrijke nieuwe schakel binnen het algemeen beeld dat men zich van de evolutie van de mens vormt.

Bodo

De Bodo-schedel is wellicht van een volwassen man. Hij is in 1976 in het Ethiopische Midden-Awash samen met Acheuleenartefacten door J. Kalb en zijn medewerkers gevonden en dateert uit het Midden-Pleistoceen. Het belang van de schedel werd pas in 1981 opgemerkt door Tim White. Toen hij de schedel voor het eerst zag, werd hij getroffen door zijn afmetingen en de massieve wenkbrauwbogen, maar vooral door insnijdingen, mogelijk al aangebracht toen de schedel nog fris was. De culturen die men in de streek vindt zijn Boven-Acheuleen en Developed Oldowan. De Bodo-schedel zelf komt echter uit een herwerkte of secundaire context, zijn leeftijd wordt op 200 000 tot 500 000 jaar geschat.

De Bodoschedel situeert zich op een plaats tussen de typische *Homo erectus* en de moderne mens en bevindt zich daarmee in gezelschap

van een andere Afrikaanse schedel uit Kabwe (Broken Hill, Zambia), de schedel van Petralona (Griekenland), de Sangiran-17-schedel (Indonesië) en die van Arago (Frankrijk).

Merkwaardigst van al is dat Bodo ontegensprekelijke insnijdingen vertoont die werden aangebracht voor de fossilisatie plaats had. Niet alleen zijn de inkervingen niet 'natuurlijk', of veroorzaakt door één of ander dier, maar vertonen een duidelijk patroon van evenwijdige insnijdingen. De enkele afslagen in basalt die bij de vindplaats van de schedel werden opgegraven, kunnen gediend hebben om de schedel te villen. De vaststelling dat het hier zonder de minste twijfel gaat om het villen van een menselijke schedel roept uiteraard vele vragen op over het hoe, door wie en waarom. Aangezien echter de schedel niet uit een living floor komt, zijn er geen in associatie gevonden voorwerpen die bij de interpretatie kunnen helpen. Wij dienen dus voorlopig in het midden te laten of het hier gaat om één of andere vorm van voorouderverering, waarbij de schedel werd ontdaan van zijn vel, of een vorm van kannibalisme.

KNM-WT 15 000

Het betreft hier het meest volledige geraamte van een vroege hominide dat ooit werd gevonden. De *Homo erectus* werd in sedimenten die ongeveer 1,6 miljoen jaar oud zijn, *in situ* opgegraven te Nariokotome II, bij het West-Turkanameer in Kenya. Het gaat om een jongen van ongeveer twaalf jaar die al 1,68 m lang was. Hoewel veel menselijke trekken vertonend, laat het skelet voor het eerst belangrijke

9





10

9. In augustus 1982 ontdekte de auteur van dit artikel in Kenya ten westen van het Baringomeer een tamelijk volledige onderkaak die niet volledig is toe te schrijven, maar waarschijnlijk aan een *Homo erectus* behoorde.

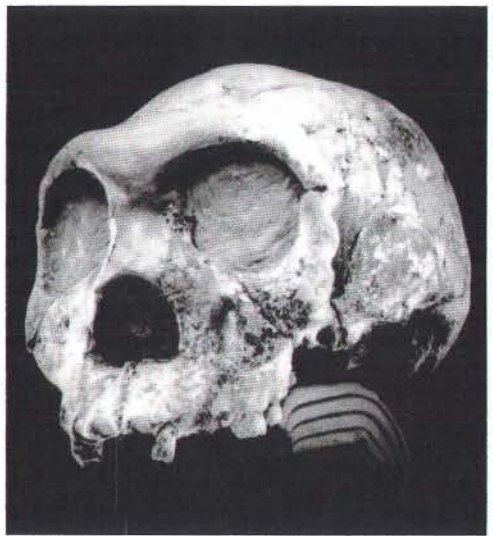
10. De vondst WT 17 000 is een schedel die wel als een vroege voorouder van *A. boisei* wordt beschouwd. Zijn zware achterhoofdkam en aangezicht, zijn kleine herseninhoud en zijn grotere ouderdom, maken WT 17 000 tot een uitzonderlijke vondst.

11. De schedel van WT 15 000 is onderdeel van de vondst van een bijna compleet skelet. De vondst bracht voor het eerst een groot deel van het skelet van een vroege *Homo erectus* aan het licht, waardoor goede vergelijkingen met de tegenwoordige skeletten mogelijk zijn.

anatomische verschillen tussen *Homo erectus* en de moderne mens zien.

Tijdens een oriënterend onderzoek vond Kamoya Kimeu in 1984 aan de oppervlakte een klein fragment van een voorhoofdplaat van een hominide. Daaropvolgend werd het materiaal aan de oppervlakte gezeefd en gewassen waarbij de schedelpan werd gevonden. Het aangezicht erodeerde net uit de tufrijke sedimenten. Een opgraving leidde tot het vinden van de onderkaak, verschillende geïsoleerde tanden en heel wat van het geraamte. Het plan van de opgraving toont aan dat de beenderen verspreid waren voor ze door de sedimenten

werden toegedekt. Hoewel het hier om een skelet gaat van een jongen, waardoor zijn kenmerken niet zo gemakkelijk te vergelijken zijn met andere vondsten, wordt toch verondersteld dat, indien volgroeid, zijn schedel net zo zwaar en zo robuust zou zijn als die van Olduvai H9. De studie van de morfologie en de verhoudingen van WT 15 000 zal toch zeer belangrijk zijn en zal betere toeschrijvingen van veel andere geïsoleerde of fragmentarische geraamtedelen mogelijk maken. Het is van uitzonderlijk belang dat hier de schedel en de rest van het skelet, ongetwijfeld van hetzelfde individu, te zamen werden gevonden.



11

KNM-WT 17 000

De media stuurden deze vondst als 'revolutie' de wereld in, als vondst die alle vorige theorieën over de evolutie van de vroege hominiden overboord werpt. Dit is zeker niet zo. Naast de schedel werd tijdens onderzoeken in 1985 in de Pliocene sedimenten ten westen van Lake Turkana ook een stuk onderkaak ontdekt, respectievelijk te Lomekwi en te Kunguruseo. De schedel zou volgens de ontdekkers bewijzen dat *Australopithecus africanus* wellicht geen voorouder van *Australopithecus boisei* geweest kan zijn.

Een typisch voorbeeld van *Australopithecus*

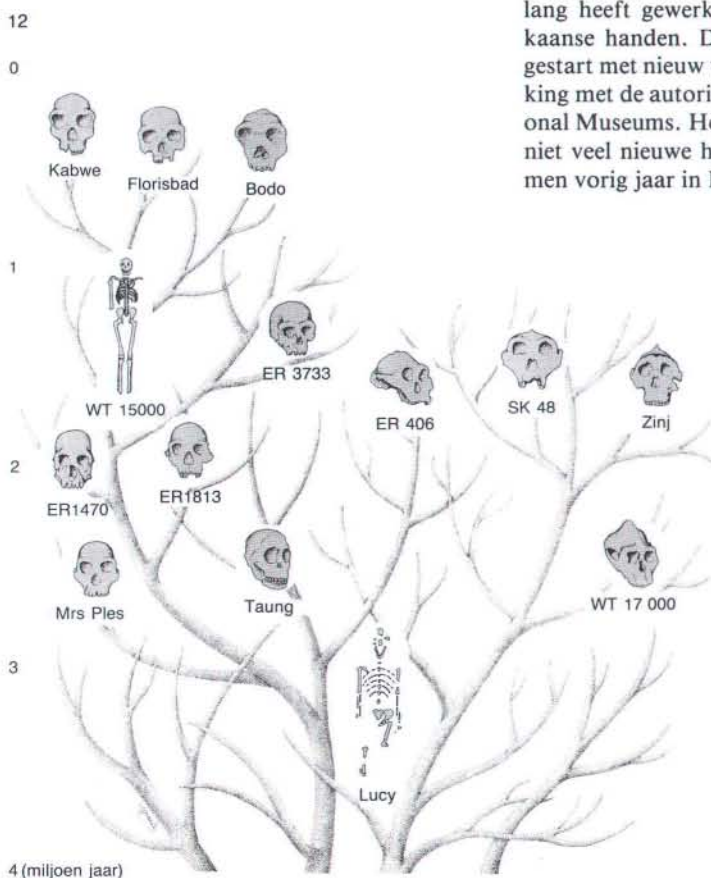
boisei is Zinj (OH5) uit Olduvai, die op 1,8 miljoen jaar is gedateerd. Deze uiterst robuuste hominide wordt beschouwd als verwant met de *Australopithecus robustus* uit Zuid-Afrika. De meningen zijn verdeeld over de vraag of ze tot dezelfde of tot verschillende soorten behoren. Er is ook geen eensgezindheid over de relatie van die twee met de fijner gebouwde *Australopithecus africanus*, door sommigen nog steeds beschouwd als een mogelijke voorouder van de moderne mens. Hiervoor zouden de *Australopithecus boisei* en *Australopithecus robustus* niet in aanmerking komen. Hoewel niet volledig, vertoont WT 17 000 zeer uitgesproken karakteristieken, als zijn grote massiviteit en zijn zeer groot aangezicht, verhemelte en schedelbasis. De hersenpan is daarentegen klein. Met een inhoud van 410 ml behoort die tot de kleinste ooit in een hominide gevonden. De achterhoofdkam is daarentegen de grootste ooit bij een hominide

aangetroffen. Sommige kenmerken komen overeen met die van de *Australopithecus boisei*, waardoor WT 17 000 binnen deze groep moet worden gerangschikt. De verschillen die hij vertoont met jongere vondsten getuigen van een variabiliteit die vroeger niet is vastgesteld, ofwel van een grotere primitiviteit, ofwel van beide. WT 17 000 en ook de onderkaak KNM-WT 16 005, op dezelfde plaats gevonden, tonen aan dat de *Australopithecus boisei*-lijn reeds 2,5 miljoen jaar geleden bestond. Zowel in robuuste bouw, als wat betreft de afmetingen van de tanden waren tenminste sommige vroege individuen even groot als de latere.

De vondst illustreert dat *Australopithecus boisei* niet langer gezien kan worden als afstammeling van *A. robustus*.

Olduvai

Olduvai, waar eerst Louis Leakey alleen, daarna samen met zijn echtgenote Mary decennialang heeft gewerkt, is sedert 1985 in Amerikaanse handen. De Amerikanen zijn in 1986 gestart met nieuw veldonderzoek in samenwerking met de autoriteiten van de Tanzania National Museums. Hoewel velen dachten dat men niet veel nieuwe hominiden zou vinden, vond men vorig jaar in Bed I toch twee stukken arm



12. Na de recente vondsten lijkt de evolutieboom, waar de mens een 'vrucht' van is, steeds meer op een evolutiestruik, met vele takken en twijgen. Alleen de lijn na ER 3733 en WT 15 000 is nog kandidaat om uiteindelijk tot de lezer van dit artikel te hebben geleid.

13. De Amerikaanse antropoloog Alan Walker was lid van het team dat het skelet WT 17 000 vond. Op de foto bestudeert hij de skeletdelen.

en een fragment van een bovenkaak van een hominide, niet ver van waar in 1959 Zinj werd gevonden. Verdere opgravingen leverden stukken van de schedel, de onderkaak en bovenste en onderste ledematen. Het is echter te vroeg om toeschrijvingen te doen, daar er in 1987 verder wordt gewerkt.

Besluit

Het aantal nieuwe vondsten is kleiner sinds het onderzoek in Hadar, Oost-Turkana, Olduvai en Laetoli stil ligt. Nieuwe fossielen moeten uit sites komen waar vroeger niet werd gezocht, als West-Turkana, of uit vindplaatsen waar opnieuw (zoals Olduvai) of meer intens wordt gewerkt (zoals Baringo). Men mag verwachten dat het aantal nieuwe vondsten kleiner zal zijn dan in de gouden jaren 1959-1976. Dit brengt echter niet mee dat men zich minder voor onze voorouders gaat interesseren. Integendeel: nooit is er van de kant van geleerden zo'n grote en ruime belangstelling geweest. Wij mogen dan ook nieuwe inzichten verwachten. Men zij echter gewaarschuwt voor berichten die de media de wereld insturen als fantastische nieuwe vondsten die de evolutietheorie op zijn kop zetten, zoals dat ten onrechte gebeurde naar aanleiding van WT 17 000.

Wel kan men zeggen dat deze laatste één van de belangrijkste is sedert Lucy in 1974 werd ontdekt. Lucy was echter in menig opzicht belangrijker daar zij het mogelijk maakte aan te tonen dat hominiden die rechtop liepen, kleine snijtanden en een nogal groot hersenvolume hadden in vergelijking met hun lichaamsgrootte zowat 4 tot 5 miljoen jaar geleden in Oost-Afrika verschenen. De best bekende voorbeelden hiervan zijn die van *Australopithecus afarensis* gevonden in Laetoli (ca 3,7 m.j.) en Hadar (3,3 - 3,0 m.j.). Later zien wij in Zuid-Afrika de *Australopithecus africanus* (3,0 - 2,3 m.j.), *Australopithecus robustus* (1,9 - 1,6 m.j.) en de *Australopithecus boisei* in Oost-Afrika (2 - 1,3 m.j.). De vroegste *Homo* komen zowel in Oost-Afrika als in Zuid-Afrika voor sedert ongeveer twee miljoen jaar. Min of meer algemeen wordt aanvaard dat *Australopithecus afarensis* de gemeenschappelijke voorouder van *Homo* en de jongere *Australopithecinae* is.

Dit zijn dan enkele van de nieuwe vondsten. Laten wij hier echter niet uit het oog verliezen dat nog heel wat minder in het oog springend materiaal uit Koobi Fora, gevonden in de jaren van de intensieve werkzaamheden aldaar, nog niet werd gepubliceerd. Het zou vooral gaan om onderkaken en fragmenten.

13

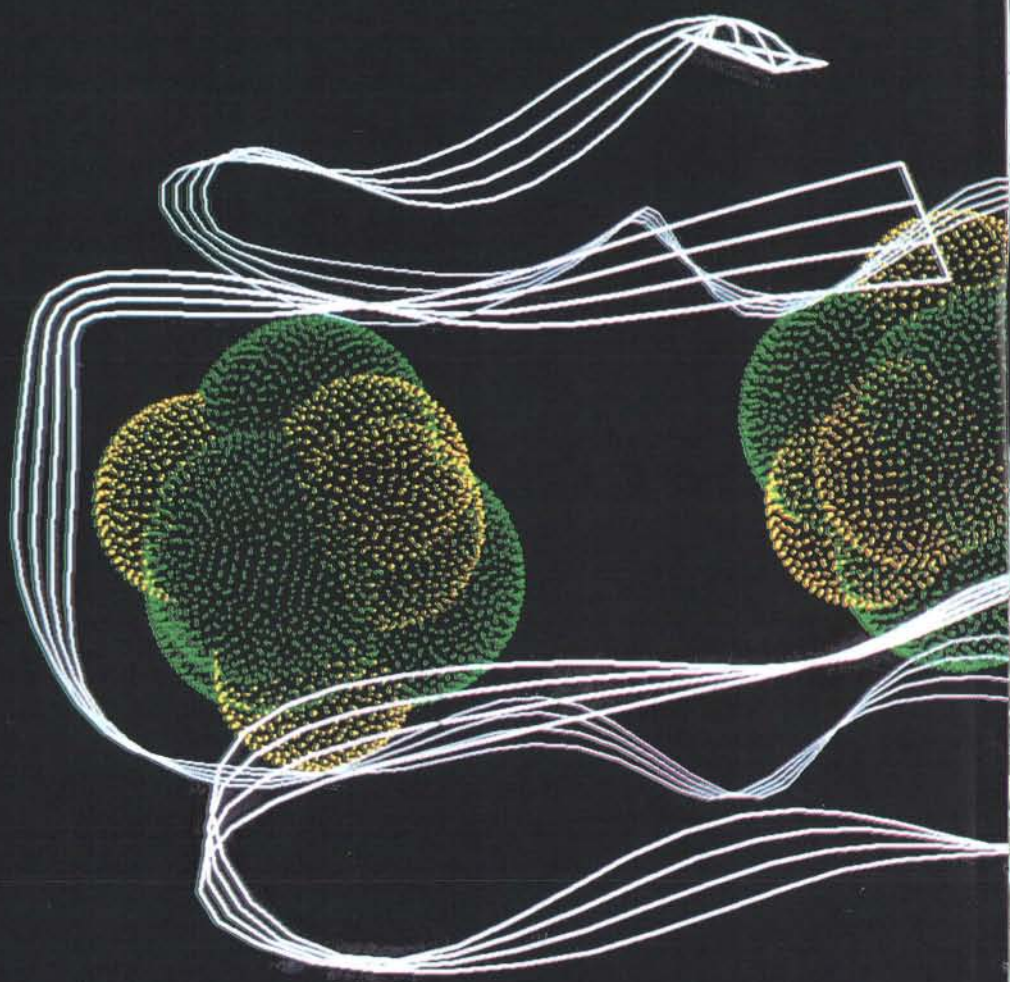


Literatuur


- Brown F et al. Early *Homo erectus* skeleton from west Lake Turkana, Kenya. *Nature* 1985; 316: 29 August, pp. 788-792.
- Delson E. Human phylogeny revised again. *Nature* 1986; 322: 7 August, pp. 496-497.
- Walker A et al. 2.5-Myr *Australopithecus boisei* from west of Lake Turkana, Kenya. *Nature* 1986; 322: 7 August, pp. 517-522.
- Dit artikel kan worden beschouwd als een aanvulling op het boek *De evolutie van de mens. De speurtocht naar ontbrekende schakels*. Uitgegeven in 1981 bij Natuur & Techniek. De auteur van dit artikel deed de wetenschappelijke begeleiding van het boek, waarin beroemde antropologen persoonlijk verslag doen van hun onderzoek.

Bronvermelding illustraties

- Hugo Baron van Lawick: pag. 494-495.
- Tropenmuseum, Amsterdam: no 1, 2.
- Robert I.M. Campbell: no 6.
- Bruce Coleman Ltd, Uxbridge, Engeland: no 5.
- Richard EF Leakey, Nairobi: no 9.
- Prof dr F van Noten, Koninklijk Museum voor Midden-Afrika, Tervuren: no 8.
- ANP-foto, Amsterdam: no 10 en 13.
- Robert F Sisson, *National Geographic Magazine*: no 8.
- John Reader en Richard EF Leakey: no 7.



Tè is nooit goed SPOOR ELEMENTEN



Gezondheid is een kostbaar bezit, dat je pas echt naar waarde schat als je het mist. Of je al dan niet in goede gezondheid verkeert hangt af van het functioneren van een uitermate complex, kunstig geprogrammeerd biochemisch mechanisme. Als daarin een schakel onvoldoende of niet functioneert, kan het menselijk gestel ontregeld raken. Dan word je onwel of zelfs ziek. Bij veel stoffen zijn heel minieme concentratieverschillen bepalend voor ziekte of welbevinden. Bij sporelementen bijvoorbeeld heeft een fractie van een gram te veel of te weinig al merkbare gevolgen.

Spoorelementen spelen een vitale rol in de functie van diverse biologische systemen. Een voorbeeld is het eiwit ferredoxine dat betrokken is bij de stikstof-fixatie in sommige micro-organismen. Dit bevat onder andere ijzer. Op deze computeropname is de polypeptideketen als een wit lint te zien. De daarbinnen aanwezige ijzer- en zwavelatomen zijn groen, respectievelijk geel gekleurd, waarbij het zogenaamde Vanderwaalsoppervlak is aangegeven. Daaraan is te zien op welke afstand van de atomen de bijbehorende Vanderwaalskrachten nog merkbaar zijn.

Harry Robberecht

*Provinciaal Hoger Technisch Instituut
voor de Scheikunde
Antwerpen*

Denis De Keukeleire

Rijksuniversiteit Gent

Hendrik Deelstra

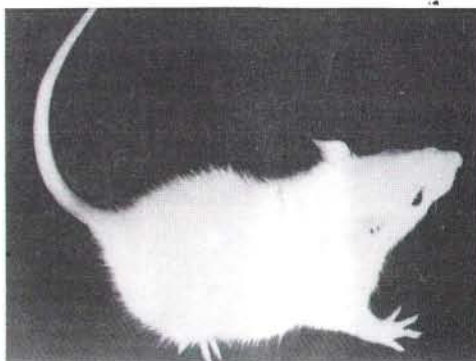
*Universitaire Instelling
Antwerpen*

Sporadisch voorkomen

Een spoorelement (afgeleid van het Griekse woord *spora*: zaad) is een chemisch element, dat in uiterst geringe hoeveelheden (spoorhoeveelheden) voorkomt. Wat heet in dit geval gering? Naargelang de invalshoek verschilt de grenswaarde voor het definiëren van een spoorelement. Vaak dient 100 ppm (parts per million; deeltjes per miljoen) als referentiepunt: een scheikundig element geldt als spoorelement, als de concentratie in mens of dier lager dan 100 ppm, ofwel 0,01 percent is. Zo zou de maximale hoeveelheid van een spoorelement in een persoon van 70 kg niet meer dan 7 g mogen bedragen; is het meer, dan is het geen spoorelement meer. Belangrijke voorbeelden van spoorelementen, die soms ook oligo-elementen of micronutriënten worden genoemd, zijn ijzer, zink, koper en seleen.

De behoefte aan onmisbare of *essentiële* spooorelementen lijkt gering, maar dit is slechts schijn. Het menselijk lichaam is opgebouwd uit zowat 10^{14} cellen. Elke cel vervult een specifieke functie en heeft voor zijn werking grondstoffen nodig. De optimale inname van seleen bedraagt bijvoorbeeld 100 microgram per dag. Met behulp van het getal van Avogadro kan men uitrekenen dat zulks overeenkomt met 10^{18} atomen seleen. Per cel moeten dus niet minder dan zowat 10^4 atomen voorkomen.

Vanaf het midden van de negentiende eeuw werd reeds vastgesteld dat bloed van verschillende diersoorten telkens andere elementen bevat: koper bij slangen, zink bij bepaalde schelpdieren en zelfs vanadium bij een bepaald



2

1. De plaats van de meest bekende spoorelementen in het periodiek systeem.

2. De hoeveelheid spoorelementen die nodig is, is zeer gering. Deze twee ratten zijn beide op een dieet gezet dat arm was aan fluor, tin en vanadium. Alleen de bovenste rat toont duidelijke deficiëntieverschijnselen. Deze is namelijk volledig van de laboratoriumatmosfeer geïsoleerd geweest, de onderste niet. Bij het onderzoek aan spoorelementen moet men dus zuiver werken.

1

[illegible]

TABEL Functie, deficiëntie- en intoxicatieverschijnselen van essentiële sporelementen

Spoor-element	Functie	Deficiëntiever-schijnselen	Intoxicatiever-schijnselen
Co	Bouwstenen van vitamine B12	Anemie Afwijkingen van het zenuwstelsel	Niet bekend
Cr	Noodzakelijk in suiker-metabolisme	Atherosclerosis	Nier- en lever-afwijking
Cu	Noodzakelijk voor de hemo-globine-synthese; bouwsteen van verschillende enzymen	Anemie bij te vroeg geboren	Gastro-enteritis
F	Structuurelement in bot-weefsel	Inductie van tandcariës Osteoporosis	Fluorosis
Fe	Bestanddeel van hemo-globine, cytochroom, myo-globine, enkele enzymen	Hypochrome-anemie	Hemosiderosis
I	Ingebouwd in de schild-klierhormonen	Hypothyroidisme	Hyperthyroidisme
Mn	Ingebouwd in verschillende enzymen, o.a. xantine oxydase	Niet bekend	Niet bekend
Mo	Betrokken bij de vorming van enzymen	Niet bekend	Misschien jicht
Se	Ingebouwd in het gluta-thionperoxidase	Hartafwijking Spierzwakte	Gastritis Atrofie van nagels Haaruitval Lookgeur in adem
Zn	Ingebouwd in verschillende enzymen	Groeiachterstand Slechte wondheling	Gastro-enteritis

de soort wormen. Deze vaststellingen werden in die tijd eerder als wetenschappelijke curiosa beschouwd en de ontdekking hiervan stimuleerde geen verder onderzoek naar de functie van sporelementen. Die kwamen pas op gang toen men deze voor het eerst op het spoor kwam.

Essentiële sporelementen

De sporelementen vervullen levensnoodzakelijke functies. De vorm waarin ze voorkomen, en de werking zijn zeer uiteenlopend van aard. Zo zijn dergelijke elementen van kapitaal belang voor het functioneren van de enzymen. Uiteindelijk zijn enzymen, als biokatalysatoren verantwoordelijk voor de biochemische omzettingen, afhankelijk van de aanwezigheid van een aantal chemische elementen. Ongeveer een derde van alle bekende enzymen heeft een metaalion nodig om te kunnen functioneren. Het ion kan daarbij geïncorporeerd zijn in het enzymmolekuul; men spreekt dan van een

metallo-enzym. Het kan ook zijn dat het vrij in de cel voorkomt en pas aan het enzym wordt gebonden als dit geactiveerd wordt. Dan ontstaan zogenaamde *metaal-enzymcomplexen*. Naast enzymondersteuning dragen sporelementen bij tot de geschikte opbouw van biopolymere structuren, zoals ijzer in hemoglobine en myoglobine, zink bij de opbouw van ribosomen en koper in mucopolysacchariden. Ook bij de oxydatieve fosforylering, waarbij sprake is van elektronenoverdracht via cytochromen, spelen sporelementen als ijzer en koper een belangrijke rol (zie tabel).

Als eenduidig aangetoond is dat afwezigheid van, of tekort aan een gegeven chemisch element leidt tot verstoring van een vitaal biochemisch proces, wordt dit element *essentieel* genoemd. Dat betekent dat de kwaal overgaat zodra het fysiologisch noodzakelijk gehalte is hersteld. Alle essentiële sporelementen zijn dus absoluut vereist voor de groei en de werking van cellen en organismen, zij het in extreem lage concentraties. Andere sporele-

Analyse van sporelementen

Met het groeiend besef van het belang van sporelementen is er behoefte aan informatie over de concentraties hiervan in voedsel, drank, lichaamsvloeistoffen en biologische weefsels. Omdat deficiëntie (tekort) en schadelijkheid (teveel) van sporelementen zeer dicht bij elkaar liggen, is een nauwkeurige kwantitatieve analyse absoluut noodzakelijk. Door introductie van nieuwe technieken met betere precisie en gevoeligheid worden detectiegrenzen steeds verschoven naar lagere concentraties. Atomaire absorptiespectrometrie (AAS) en neutronenactiveringsanalyse zijn momenteel de meest aangewezen technieken. Laatstgenoemde meetmethode biedt het voordeel, dat verschillende sporelementen gelijktijdig bepaald worden. Daardoor kan men de onderlinge inwerking van deze stoffen bestuderen. De benodigde apparatuur is echter duur en de analysetijd kan relatief lang uitvallen. De stijgende interesse in multi-elementanalyse heeft eveneens geleid tot de herwaardering van atomaire emissiespectrometrie met een inductief gekoppeld plasma (ICP) als atomisatiebron. Voor de AAS is het namelijk nodig om atomen in een vlam, oven of met een plasma zo sterk te verhitten dat de buitenste elektronen in een hogere valentiebaan komen. Als zij terugvallen naar de

I-1. Elk element zendt bij verhitting een karakteristieke straling uit. De rode vlam komt van lithium, de blauw-groene van koper en de bleekgroene van mangaan.

I-2. Bij AAS wordt het monster verhit in een grafiet-oventje dat 3 cm lang is en een diameter heeft van 0,5 cm. Op de achtergrond een lamp die licht uitzendt dat specifiek is voor het te bepalen element.



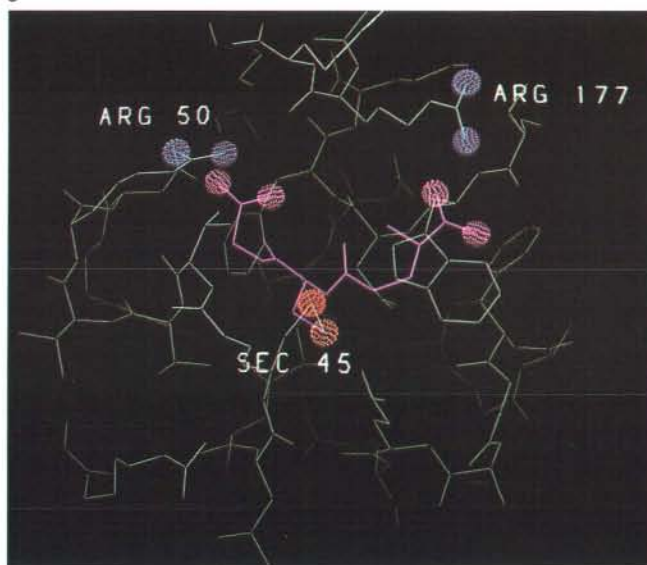
I-1

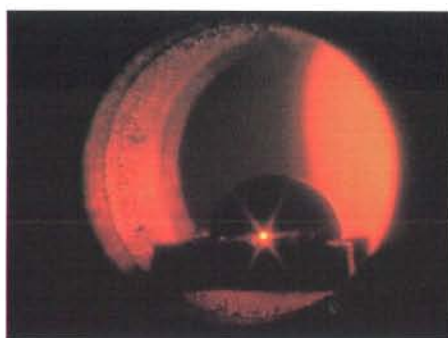
oorspronkelijke baan wordt licht uitgezonden met een golflengte die specifiek is voor het betreffende atoom.

Atomaire absorptiespectrometrie met vlam-ionisatie wordt voornamelijk gebruikt voor elementen waarbij het niet nodig is om de toevlucht te zoeken in de lagere detectiegrenzen van ovenatomisatie. Door aanmaak van hydriden van sommige elementen (Se, Te, As) is het mogelijk gevoeliger te meten, omdat men dan zeker weet dat er dan geen storende zoutresten afkomstig uit het weefsel in het monster aanwezig zijn. Het gebruik van andere zuiveringstechnieken kan bij

3

3. Glutathionperoxidase is een voorbeeld van een enzym dat van een sporelement, selen, afhankelijk is. Het beschermt weefsels tegen de schadelijke werking van peroxiden. Deze worden gereduceerd waarbij tegelijkertijd SH-groepen van glutathion worden geoxydeerd. Het seleenaatoom zit ingebouwd in één van de aminozuren in de polypeptideketen, selenocysteïne, aangeduid als SEC 45. Op dit computermodel is de polypeptideketen in groen weergegeven. Een gebonden glutathionmolekuul is paars gekleurd. Glutathion bezit aan zijn uiteinden twee COOH-groepen, die zich binden aan argininemolekulen in het enzym (Arg 50 en Arg 177). Het enzymmolekuul is zo gevouwen dat de SH-groep van het glutathion precies tegenover het selenocysteïnemolekuul komt te liggen. Daarbij heeft de feitelijke oxydatie van de SH-groep van glutathion plaats.





1-2

ovenatomisatie eveneens verlaagde detectiegrenzen opleveren.

Ook bij andere analysetechnieken is het nodig eerst alle overtollige materiaal af te breken en uit het monster te verwijderen.

Kwaliteitscontrole is bij de spoorelementen-analyse meer dan ooit vereist. Alle stappen in de analyseprocedure dienen te worden geëvalueerd en men moet voortdurend beseffen dat elk analysemateriaal anders is en een andere voorbereiding vergt. Het opsporen en elimineren van foutenbronnen is dan ook een permanente bezigheid. Het gebruik van standaardreferentiemate-

rialen met bekende spoorelementconcentraties is een vaak gebruikte controlemethode.

Het vermijden van contaminatie is een belangrijke factor in spoorelementanalyse. Dikwijls zijn de te bepalen elementen in vergelijkbare concentraties aanwezig in reagentia, reactievaten, de lucht en in de kledij van de analist. Hieruit blijkt tevens dat monsternamen en -voorbereiding zeer kritisch zijn. Werken in ultra-zuivere laboratoria met materiaal, dat vooraf uiterst zorgvuldig is gereinigd, alsmede het gebruik van reagentia met de hoogste zuiverheidsgraad zijn absolute vereisten.

menten blijken wel nuttig, maar niet absoluut onmisbaar te zijn. Deze krijgen, totdat blijkt dat ze wel essentieel zijn, het voorlopig predikaat *niet-essentieel*.

Het onderzoek van essentiële spoorelementen is pas de laatste decennia uit de verf gekomen. Nochtans werd reeds in de achttiende eeuw de onmisbaarheid van ijzer en jodium vastgesteld. Al in 1838 vermoedde J.J. Berzelius dat de ijzerhoudende rode kleurstof in het bloed verantwoordelijk is voor het zuurstoftransport. In 1885 werd dit experimenteel bevestigd. In dezelfde tijd werd bevestigd dat jodium onmisbaar is voor de schildklierfunctie. In de loop der jaren werden 14 chemische elementen ondubbelzinnig geklasseerd als essentiële spoorelementen; over een viertal andere (lood, arseen, silicium en vanadium) bestaat nog onzekerheid. Deze 18 elementen zijn verspreid over het periodiek systeem van Mende-

lejew. Opvallend is echter de quasi-afwezigheid van alkali- en aardalkalimetalen. Een aantal daarvan (natrium, kalium, calcium, magnesium) behoort immers tot de *macro-elementen* en komt in concentraties ver boven de aangenomen norm van 100 ppm voor. Overigens wordt de hierboven gegeven definitie van essentiële spoorelementen niet echt consequent gehanteerd. Zo is het element silicium in te grote hoeveelheid aanwezig om tot de spoorelementen gerekend te worden. Toch wordt het als zodanig behandeld, gezien de grote verspreiding in kleine concentraties door het lichaam en vooral wegens de zeer gebrekkige kennis over de functie ervan. Daartegenover staat het element ijzer, dat vooral in één weefsel (bloed) geconcentreerd is en nog maar weinig geheimen heeft. Met ijzer zijn zink (zie intermezzo II) en koper de biologisch belangrijkste essentiële spoorelementen.

Zink, de onmisbare link

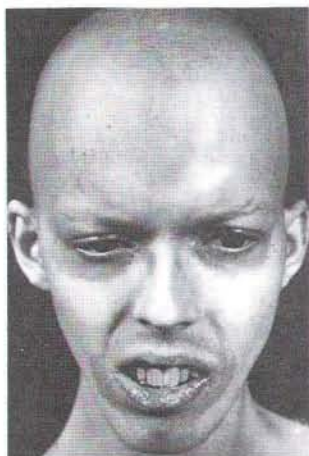
In de zes belangrijkste enzymklassen (oxido-reductasen, transferasen, hydrolasen, lyasen, isomerasen en ligasen) komen zinkhoudende enzymen voor. Van een tachtigtal is bekend dat het element een rol speelt in het katalytisch actief centrum. Zodra zink verwijderd wordt daalt de katalytische efficiëntie tot nul.

Een belangrijke karakteristiek van zink is het uitgesproken Lewiszuur-karakter, waardoor het sterk geneigd is elektronenparen van donorgroe-

pen op te nemen. Aldus houdt zink sub-eenheden van bepaalde proteïnen bij elkaar en zorgt voor de stabilisatie van de quaternaire structuur.

Zink is van essentieel belang voor een goed functioneren van het epitheelweefsel, wat tot uiting komt bij het helen van wonden. Daarnaast is van het element nog voor andere lichaamsprocessen van belang. Het helpt de produktie van insuline in de alvleesklier, het houdt de vocht-huishouding in goede banen, werkt bloedvaat-verwijdend en men noemt het vaak een anti-stressfactor. Zink zou ook onmisbaar zijn bij de vorming van witte bloedlichaampjes (T-lym-

Il-1. Twee opnamen van een patiënt die leed aan een acute zinkdeficiëntie na een penicillaminetherapie. Rechts dezelfde patiënt, nadat het zinktekort gecorrigeerd was. De verschillen spreken voor zich.



Sommige spoorelementen komen in zulke geringe hoeveelheden voor – meetbaar als deeltjes per miljard (parts per billion; ppb) of minder – dat nog maar zeer weinig bekend is over hun functie. Algemeen vermoedt men echter dat uiteindelijk alle niet-metalen, exclusief de edelgassen, essentiële elementen zullen blijken zijn. Op het nu bekende lijstje ontbreken voorlopig nog de elementen broom en borium.

De gepaste dosis

Een essentieel element is absoluut nodig wil het menselijk gestel behoorlijk functioneren.

Van een aantal elementen zijn de functies en de fysiologische verschijnselen bij te lage (deficiëntie) en te hoge (toxische) concentraties min of meer bekend. De hamvraag is nu: wat is de *optimale* dosis? Stuk voor stuk zijn de beschouwde elementen toxisch, zodra een niveau, specifiek per element, overschreden wordt. Er kunnen zich vergiftigingsverschijnselen voordoen en bij te hoge inname treedt de dood in. Vooral seleen, fluor, lood, arseen en cadmium zijn duidelijk toxisch. Daar staat tegenover dat als deze essentiële elementen in te kleine hoeveelheden aanwezig zijn, deficiëntiesymptomen optreden die eveneens de dood tot gevolg kunnen hebben. Afbeelding 4 laat zien

focytten), wat zijn versterkende werking in het immuunsysteem kan verklaren. Bij de mens worden de hoogste zinkgehalten gevonden in de prostaat en in het oog.

De meest voorkomende symptomen van zinktekort, zijn groeivertraging, huidziekten, smaak- en reukstoornissen en gebrekkige eetlust. Bij kinderen van zinkdeficiënte moeders zijn ernstige afwijkingen vastgesteld.

Het ziektebeeld van Wilson, een recessief overervende aandoening, wordt gekenmerkt door een gestoorde koperstofwisseling. Er vormen zich koperafzettingen in verschillende organen, waaronder de hersenen, waardoor onherroepelijke beschadigingen optreden. Medicatie met hoge doses zinkpreparaten (zink is antagonist van koper), in combinatie met penicillamine als koperuitdrijvend middel, levert de gepaste bestrijding. In de farmacotherapie worden een aantal zinkzouten aangewend tegen aambeien, in stimulerende middelen die in het centrale zenuwstelsel werken, bij huidbehandelingen en in de oogheelkunde. Meestal gaat het om eenvoudige anorganische verbindingen zoals zinkoxide of zinksulfaat. Als organisch derivaat wordt zinkgluconaat geregeld toegediend.

De dagelijkse behoefte aan zink bedraagt voor een volwassene ongeveer 7,5 mg. De zinkbehoefte voor zwangere vrouwen is hoger. Bij een opname tot 200 mg per dag over een lange periode zijn geen ongewenste verschijnselen gevonden.

dat het optimale dosisgebied meestal heel smal is; voor seleen: 1,5 tot 2,5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

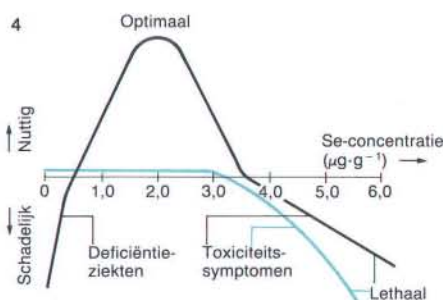
De biologische respons van een essentieel element wordt bepaald door de inname ervan in de tijd en vooral de resorptie (opname) in het menselijk lichaam. Vanzelfsprekend zal deze dosis-responsrelatie van element tot element verschillen. Ook de waarden van de meest geschikte doses zijn variabel. De optimale dosis is daarenboven ook afhankelijk van de doelgroep waarop men zich richt: voor kinderen, volwassen mannen en vrouwen, zwangere vrouwen of bejaarden gelden doorgaans verschillende waarden. Voor het element seleen (De Keukeleire, 1985) bedraagt de opti-

male daginname 50 tot 200 microgram, voor fluor 1 tot 2 milligram. Dit laatste element staat vooral in de belangstelling als gevolg van de fluoridering van drinkwater in sommige landen. Fluoride wordt tevens vaak toegevoegd aan tandpasta om het gevaar voor tandbederf te verkleinen.

Waar halen we de essentiële spoelementen vandaan en hoeveel is onze dagelijkse behoefte? De spoelementen hebben met de vitaminen gemeen dat het lichaam ze niet zelf kan aanmaken, zodat toedienen van buitenaf noodzakelijk is. Hoewel geringe hoeveelheden in het menselijk lichaam kunnen worden opgenomen via de luchtwegen en de huid, is de voeding veruit de belangrijkste bron.

Het is uitermate moeilijk om bij de mens onomstotelijk vast te stellen of bepaalde ziekteverschijnselen veroorzaakt worden door gebrek aan een karakteristiek element in de voeding. Pas als men een ondubbelzinnig verband tussen specifieke symptomen en gemeten concentraties van spoelementen in bepaalde indicatorweefsels (haar, nagels) of vloeistoffen (serum, bloed, urine) heeft vastgesteld, kan men met enige overtuiging het spoelement als oorzaak van de ziekte aanwijzen.

Een relatief nieuw onderzoekgebied, waar bij het voorkomen van spoelementen een rol speelt, is de samenstelling van synthetische voeding. Aan patiënten, die op de gewone wijze geen voedsel kunnen innemen, wordt een oplossing met voedende bestanddelen intraveneus (in een ader) toegediend. De behandeling kan zeer lang toegepast worden. Zodoende



4. Essentiële spoelementen zijn alleen nuttig indien de concentratie binnen bepaalde grenzen ligt. Gebrek leidt tot deficiëntieverschijnselen, te veel is toxisch. De aangegeven waarden gelden voor seleen. De gekleurde lijn geeft het patroon voor een niet-essentieel spoelement.

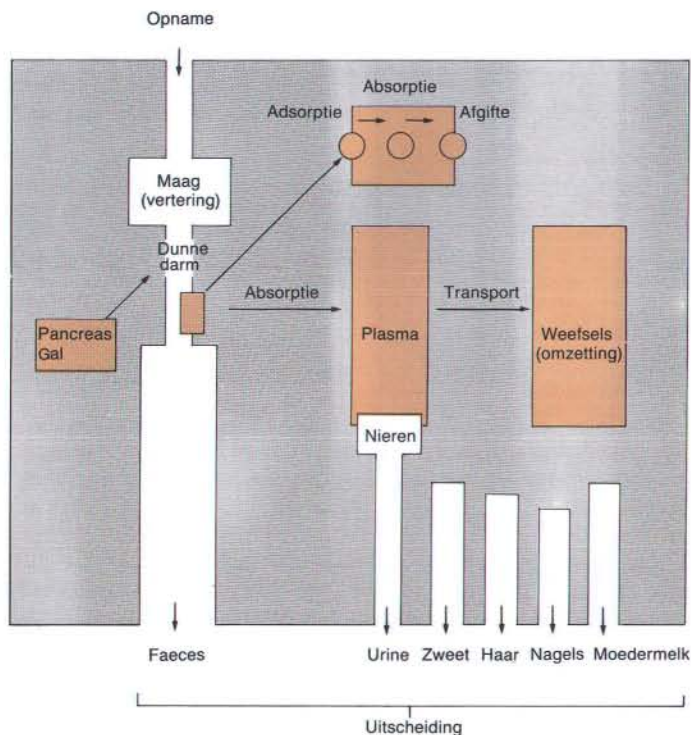
weet men heel precies welke voedingsstoffen in welke hoeveelheden in de bloedbaan terechtkomen. Eventuele deficiëntiesymptomen kunnen nu duidelijk gedetecteerd worden. Hierop zal de klinisch bioloog inspelen door te onderzoeken hoe deze symptomen kunnen worden weggewerkt via toediening van essentiële sporelementen.

Competitie tussen elementen

Gesteld dat de werking van alle chemische elementen ooit bekend wordt, dan nog blijven er problemen. Een bepaald sporelement functioneert immers niet onafhankelijk van andere elementen. Voor een welbepaalde biologische functie ontstaat er competitie tussen elementen met vergelijkbare eigenschappen. Deze interacties kunnen leiden tot *synergisme* of versterking van de onderlinge effecten. Het komt echter vaker voor dat ze elkaars nuttig effect afzwakken; men spreekt dan van *antagonisme*. Met het huidige kennisniveau kunnen we reeds sterke en zwakke antagonistische ten-



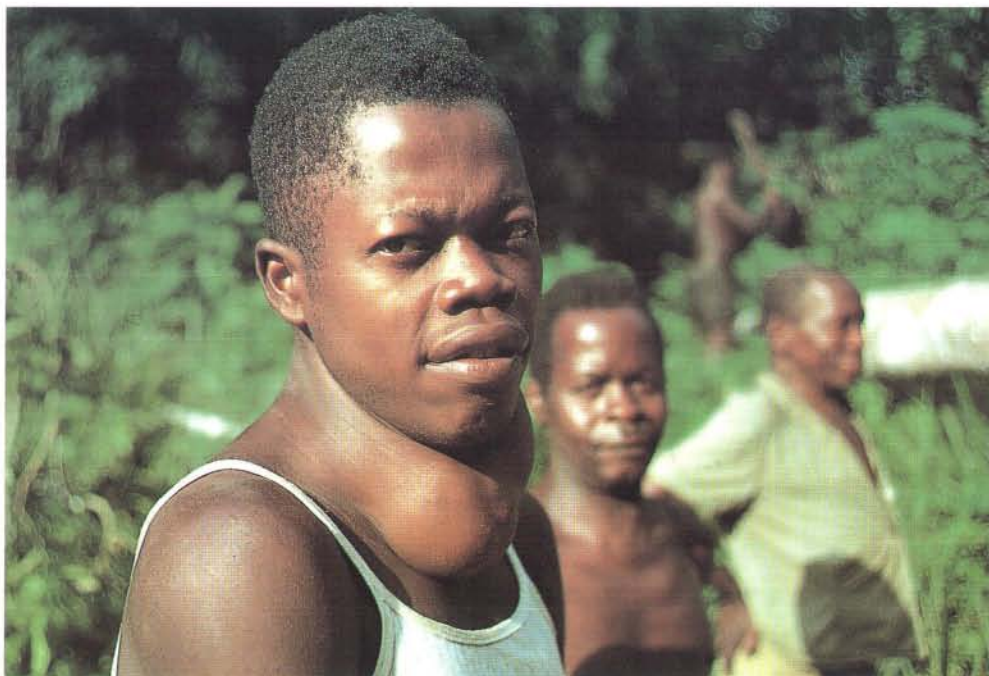
6



5. Een sterk geschematiseerd beeld van het lot van sporelementen in het lichaam. Na opname met het voedsel wordt een deel via de wand van de dunne darm in het bloedplasma opgenomen. De rest wordt met de faeces uitgescheiden. Het deel dat in het plasma komt verspreidt zich over het lichaam en wordt uiteindelijk via de urine, zweet, haren, nagels en moedermelk weer uitgescheiden.

6. Een gevarieerd dieet bevat voldoende sporelementen om in de dagelijkse behoeften te voorzien. Vis geldt als bron voor arseen, chroom, cobalt, fluor, jodium, seleen en vanadium. Uit graanproducten kan men onder andere ijzer, mangaan en molybdeen halen.

7. Jodiumgebrek leidt tot het ontstaan van krop. Dat is gemakkelijk te herkennen aan de stevig opgezwollen schildklier. De schildklier immers is het orgaan waarin de jodiumbehoefte het grootst is.



7

denzen tussen een aantal metalen vaststellen. Zo kan een te hoog gehalte aan zink in de voeding de opname van het noodzakelijke element koper verlagen.

Ook voor de sporelementen geldt dat wie gezond en gevarieerd eet, alles krijgt wat een goed functionerend lichaam nodig heeft. De norm voor gehalten aan individuele sporelementen kunnen daarbij slechts een ruwe richtlijn betekenen. Er zijn zoveel invloeden, persoonlijke verschillen, interferenties met andere essentiële elementen en voedselcomponenten (fosfaten, vezels, eiwitten), die de uiteindelijke beschikbaarheid in ons lichaam bepalen. Hoewel de meeste analysetechnieken alleen het totaalgehalte van een bepaald element meten, zal in de toekomst meer en meer aandacht besteed worden aan de identificatie van de verschillende chemische vormen.

Elke vorm of chemische valentietoestand van een sporelement kan een sterk uiteenlopende functie en fysiologische activiteit uitoefenen. Het onderzoek naar de werking van deze elementen zal zich de komende jaren dan ook in eerste instantie richten op deze chemische aspecten.

Met dank aan drs C.M. Brandenburg, docent aan de lerarenopleiding Ubbo Emmius in Groningen, voor didactische adviezen.

Literatuur

- Frieden E. New perspectives on the essential trace elements. *Journal of Chemical Education* 1985; 62: 917.
 Bertini I, Luchinat C, Monnanni R. Zinc enzymes. *Journal of Chemical Education* 1985; 62: 924.
 Deelstra H. Evolutie van de methodologie van het onderzoek naar essentiële sporelementen. *Farmaceutisch Tijdschrift voor België* 1981; 58: 213.
 Deelstra H. Essentiële sporelementen en voeding. *Chemie Magazine* 1979; 5: 17.
 Keukeleire D De. Seleen – Gif wordt onmisbaar element. *Natuur en Techniek* 1985; 53: 426.
 Galan L de, Dalen J.P.J. Atomspectrometrie. *Natuur en Techniek* 1985; 53: 378.

Bronvermelding illustraties

- Dr Jane M. Burridge, IBM Winchester/Brookhaven National Laboratories data bank: opening.
 J.A.B. Verduyn, Leiden: I-1 en I-2.
 Prof dr L. Flohé, Grünenthal GmbH, Aken: 3.
 M. Huet, Hoa Qui, Parijs: 7.
 Alle andere illustraties zijn van de auteurs.

Onder redactie van ir. S. Rozendaal.

Een taxirit met Herbert Simon

'De mens is geen rationele beslisser'

Joost van Kasteren

De taxi worstelt zich door het Rotterdamse avondspitsuur. Mijn aantekeningen zijn op zijn zachtst gezegd wat wiebelig. Herbert Simon, met wie ik meerijd naar zijn hotel, is moe. De Nobelprijswinnaar is niet meer één van de jongsten. De trip van Cambridge, via Schiphol naar de Erasmusuniversiteit, waar hij vervolgens deelnam aan een *workshop*, heeft er een zware dag van gemaakt. Ons gesprek, waarin regelmatig woorden vallen als 'co-evolution', 'chaos' en 'business cycle', doet de chauffeur af en toe verbaasd in zijn achteruitkijkspiegel kijken.

Simon is één van die mensen die er geen bezwaar in ziet om bij andere disciplines, als psychologie, moleculaire biologie of thermodynamica leentjebuur te spelen voor het ontwikkelen van zijn economische theorieën.

Met zijn op de psychologie gebaseerde aanvallen op de meest gangbare economische opvattingen is hij niet populair bij de (neo)klassieke economen. Dat is hij wel bij bedrijfskundigen, die, als het goed is, vrijwel dagelijks meemaken hoe mensen zondigen

tegen het hun door de economische theorie voorgeschreven gedrag.

■ Begrensdde rationaliteit ■

Al in de jaren vijftig ontwikkelde Simon het idee van 'bounded rationality' als mogelijke verklaring voor het ogenschijnlijk niet-rationele beslisedrag van mensen.

De menselijke geest werkt, zo zegt hij, niet als een schaakcomputer die alle mogelijke zetten beziet en vervolgens doorrekent. De menselijke geest werkt *heuristisch*. Vrij vertaald: in belangrijke mate op basis van 'Fingerspitzengefühl'.

Ook bij beslissers, hetzij bij de overheid hetzij in het bedrijfsleven, spelen, wat Simon 'hunches' (ingevingen) noemt een grote rol. Toch gaan met name de neoklassieke, maar ook de Keynesiaanse, economen ervan uit dat menselijk gedrag rationeel is. Een bekend voorbeeld daarvan is de nutsfunctie; mensen zouden een bepaald aankoopgedrag vertonen omdat zij als het ware 'uitgerekend' hebben dat de uitgave voor een bepaald goed hen meer nut

geeft dan het geld uitgeven aan iets anders, dan wel het op de bank zetten.

"Dat dat niet zo werkt, zien we dagelijks om ons heen," zegt Simon, "maar economen geloven nog steeds dat het wel zo werkt. Misschien niet voor ieder individu, maar dan toch statistisch. Het grote manco in de bestaande economische theorievorming is dat men weigert om gedrag van mensen, van beslissers, empirisch te onderzoeken".

Economen zouden meer naar de socio- biologie moeten kijken.

Een fraai voorbeeld van de botsing van economische theorie en de praktijk van alledag is het onderzoek dat gedaan is naar het aanschaffen van een verzekering tegen overstromingen. Volgens de economische theorie zal iemand een verzekering tegen overstroming kopen als hij meent dat de baten die hij geniet van een dergelijke verze-

kering (kans op overstroming in relatie tot uitgekeerd bedrag) groter zijn dan de premie van de verzekering. Sociaal-wetenschappelijk onderzoek laat echter zien dat dergelijke rationele afwegingen helemaal geen rol spelen. Mensen kopen een verzekering als er op de televisie berichten zijn geweest over overstromingen, of als zij vrienden hebben die te maken hebben gehad met dergelijke schade. Volgens Simon is ook de veronderstelling dat de gezamenlijke acties van mensen als het ware statistisch zorgen voor absoluut rationeel gedrag niet houdbaar.

"Economen," zo zegt hij, "zijn er niet in geslaagd om de *businesscycle* rationeel te verklaren. Om een theorie te ontwikkelen die overeenstemt met de werkelijkheid hebben zij 'irrationeel' gedrag in moeten calculeren."

Businesscycles zijn de golfbewegingen in de economie. Keynes bijvoorbeeld, heeft om zijn theorie kloppend te maken met de werkelijkheid, de 'geld-illusie' geïntroduceerd om een golfbeweging te verkrijgen. Vakbonden, zo veronderstelt Keynes, kunnen geen onderscheid maken tussen veranderingen in koopkracht (real wages) en loonsverhogingen c.q. -verlagingen (money wages).

Ook bij de neo-klassieke economie Lucas komen we in zijn verklaring van businesscycles een irrationeel element tegen. Daar zijn het echter de ondernemers die geen onderscheid kunnen maken tussen algemene prijsbewegingen en die in hun eigen bedrijfstak.

Vuilnisvat

Het concept van 'bounded rationality' van Herbert Simon heeft nogal wat gevolgen voor beslisstheorieën. Hoe beslissen

mensen eigenlijk? De veronderstelling dat mensen beslissingen nemen op grond van het door hen ervaren nut of de verwachting van nut blijkt niet op te gaan.

Een dergelijke handelwijze veronderstelt namelijk dat mensen bewuste keuzes maken, waarbij alle alternatieven worden afgewogen en vervolgens de meest optimale strategie wordt gekozen. Een vorm van *doelgerichte rationaliteit* die we slechts in de handboeken economie tegenkomen, meent Simon.

Uit de psychologie is al lang

de aankoop van een video-recorder in het gezin of een gigantische raffinaderij, vertonen zelden doelgericht gedrag op basis van vastgelegde waarden en logische criteria. De doelen zijn vaak tamelijk vaag en veranderen ook nogal eens tijdens het proces van informatieverwerking en het maken van keuzen.

Deze 'fuzziness' bij het vaststellen van doelen en het nemen van beslissingen heeft grote gevolgen voor het ontwikkelen van 'decision support systems'. Dat zijn een soort programma's met



Herbert Simon:
"Een expertsysteem is per definitie niet logisch."
(ANP-foto).

bekend dat mensen in het algemeen geen doelrationaliteit hanteren, maar daarentegen juist een procesrationaliteit. Men heeft een soort vuilnisvat tot zijn beschikking met hele en halve ideeën, theorieën en doelen en afhankelijk van impulsen uit de omgeving pikt men daar iets uit.

Beslissers, of het nu gaat om

kunstmatige intelligentie die beslissers van informatie moeten voorzien om een zo goed mogelijke keuze te maken.

Zulke AI-programma's zijn per definitie niet logisch, maar 'heuristisch' van aard, meent Simon, mede ook omdat ze uitgaan van de denkwijze van een deskundige op

het betreffende gebied. Op die gronden worden ook AI-systemen, evenals de deskundigen op wier keuzen ze zijn gebaseerd, geplaagd door 'bounded rationality'. Bovendien zijn AI-systemen vaak 'bevooroordeeld' door het feit dat de betreffende experts dat ook zijn.

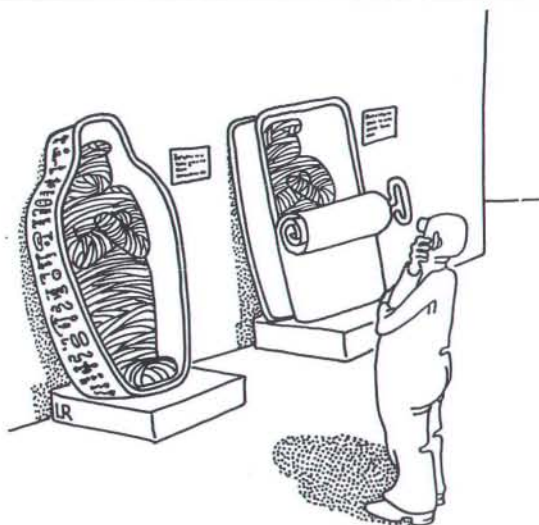
Een patiënt komt bijvoorbeeld met bepaalde vage klachten bij zijn huisarts. Als die het schijfje met het expertsysteem van een psychiater in zijn computer stopt, zal er vaak een andere diagnose uitkomen, dan wanneer hij het expertsysteem gebaseerd op de kennis van de internist erin stopt.

Expertsystemen kennen dus zeker hun beperkingen. In sommige gevallen heb je volgens Simon veel meer aan analytisch gereedschap. Anderzijds zijn expertsystemen een uitstekend middel om kennis over te dragen en vast te houden. "We moeten daar niet bang voor zijn," zegt Simon. "Ik land nog wel eens op La Guardia (een vliegveld bij New York) en daar is het vaak mistig. Tegenwoordig denk ik dan vaak bij mezelf: ik hoop dat een computer ervoor zorgt dat dit vliegtuig landt. Dan voel ik me een stuk veiliger dan wanneer een piloot het moet doen."

Sociobiologie

Niet alleen economen, ook ontwerpers van technische systemen gaan uit van een bepaald gedrag van mensen. Ingenieurs bijvoorbeeld veronderstellen dat mensen zich aan voorschriften houden. Vaak gebeuren er echter ongelukken omdat mensen, veelal met een goede redenering, van de voorschriften afwijken (zie het interview met Wagenaar in Natuur en Techniek van april j.l.).

Cartoon



Reinhold Löffler

Het probleem met theoretische economen en met ingenieurs is volgens Simon dat zij globaal uitgaan van een mechanisch wereldbeeld, waarbij mensen, of het nu operators, ministers of consumenten zijn, beschouwd worden als radertjes in de machine. "Ik denk," zegt Simon, "dat je bij het bouwen van modellen over beslissinggedrag van mensen veel meer moet kijken naar de biologie. De sociobiologie biedt je, wat economische theorieën betreft althans, veel meer aanknopingspunten om feitelijk gedrag te bestuderen en te verklaren, dan theorieën over de mens als rationeel handelend wezen, geleid door zijn behoefte aan maximaal nut."

Ook van de evolutietheorie kan men het een en ander opsteken. Een verschijnsel als de samenwerking tussen twee concurrenten (bijvoorbeeld

AT & T en Philips) zou men kunnen verklaren met het creëren van een 'niche' in de natuur, waarin een nieuwe soort kan ontstaan of met een verschijnsel als symbiose.

Simon: "Vertaald in termen van de klassieke economie denken de theoretici dat de economische 'evolutie' al voltooid is, dat we leven in een tijd van volledige vrije concurrentie. Onzin. Kijk eens om u heen, de wegen, de spoorwegen, de hele infrastructuur. Met de 'invisible hand' van Adam Smith zouden die dingen er toch nooit gekomen zijn."

De taxichauffeur heeft het weer gered; we zijn heelhuids aangekomen bij Simons hotel. Bij het afrekenen blijkt de kersverse eredoctor van de Erasmusuniversiteit alleen vergeten te zijn om geld te wisselen. Over rationaliteit gesproken!

De spin off van Star Wars

Simon Rozendaal

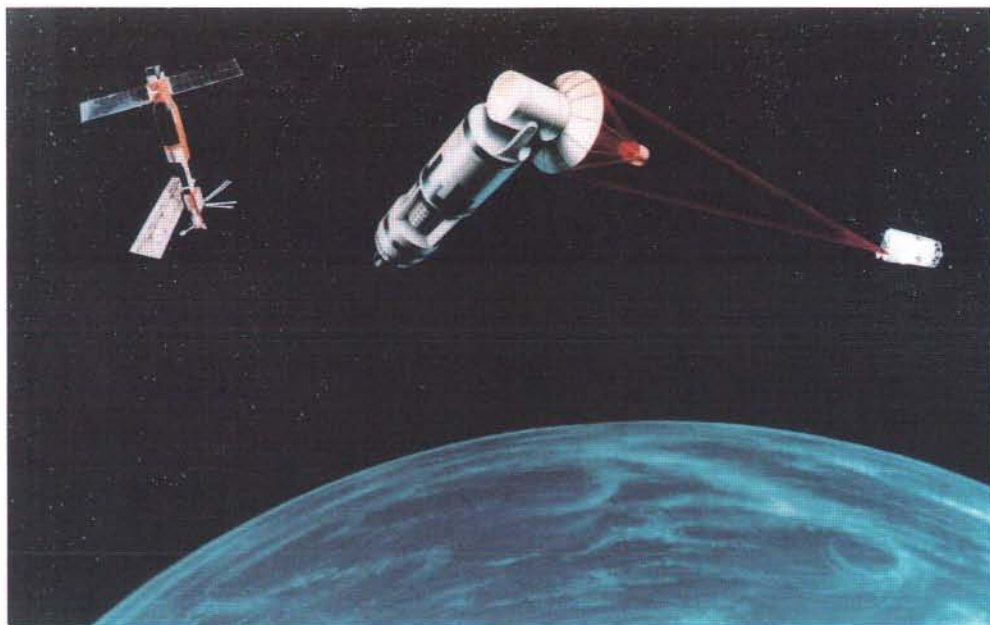
De tefalpan is waarschijnlijk de bekendste *spin off* van de ruimtevaart. Door het Amerikaanse Apollo-project werd het mogelijk om koekepannen te maken die minder aanbakten dan voorheen. De tefalpan geeft tevens in een notedop het dilemma van spin off aan: was het echt noodzakelijk astronauten naar de maan te sturen om een niet-aankoekende koekepan te ontwikkelen?

Walter Zegveld en Christien Enzing geven in hun recente

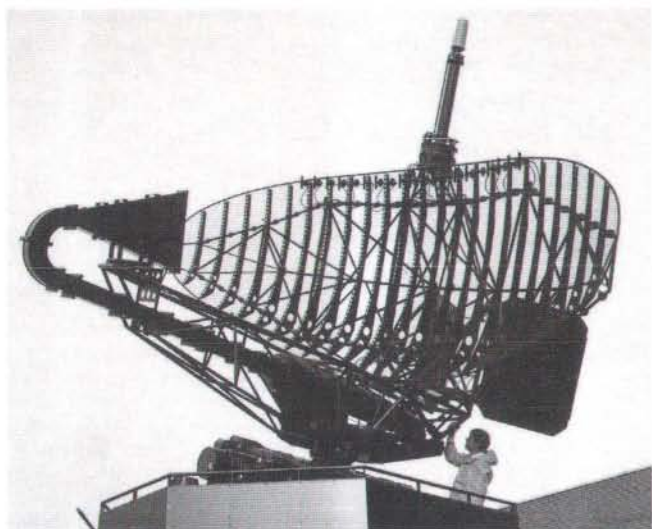
boek over het Strategisch Defensie Initiatief een aantal voorbeelden van spin off dat wellicht uit dit programma (in het verleden wel Star Wars genoemd, maar die term is geruisloos gesneuveld) zal komen: betere computertomografische scanners, apparatuur voor niet-destructief onderzoek, het etsen van chips met lasers, energie-opslag in de ruimte, versnelling van de ontwikkeling van de supercomputer, software voor kunstmatige intelligentie, de

optisch-elektronische computer. Het tefaldilemma blijft ook bij SDI echter onverminderd aanwezig, zo stellen Zegveld en Enzing, die met kennelijke instemming Lester Thurows 'eerste vuistregel over militaire uitgaven' citeren: Defensie-investeringen kunnen nooit op economische gronden worden gerechtvaardigd."

Het thema spin off is fascinerend in de SDI-discussie. Op het eerste gezicht lijkt het een nevenaspect. SDI is een militair project, nietwaar, in 1983 gelanceerd door president Reagan zelf, met als doel om een ondoordringbaar ruimte-schild tegen intercontinentale raketten te ontwikkelen. Toch is het belang van de militaire investeringen voor de Amerikaanse industrie en economie veel meer dan zomaar een nevenaspect.



Is SDI nodig voor de spin off?
(Foto: US Dept. of Defence)



De radar is vlak voor de Tweede Wereldoorlog ontwikkeld voor militair gebruik: een duidelijke spin off.

Natuurlijk, het uiteindelijke doel van SDI is en blijft militair. Waar in de maatschappelijke discussie over SDI echter veelal aan wordt voorbijgegaan is dat de praktijk van SDI tot nu toe maar weinig militair is. Zeker tot aan het begin van de jaren negentig is SDI bovenal een gigantisch wetenschappelijk en technologisch programma met maar heel af en toe militaire kantjes.

In dat verband wordt de spin off opeens van nevenargument tot cruciaal thema. Nogal wat voorstanders van SDI, in de VS en Europa, wijzen er op dat als een grootmacht als Amerika zijn wetenschappelijk en technisch talent bundelt, dit grote gevolgen kan hebben voor de Amerikaanse economie. In dat verband wordt vaak verwezen naar het Apollo-project van president Kennedy in de jaren zestig. Toen stonden de neuzen van de Amerikaanse wetenschaps-

mensen ook in één richting en maakte de Amerikaanse industrie vervolgens een bloei-periode meemaakte die één à twee decennia duurde.

Zal dit bij SDI ook gebeuren? Is SDI naast een militair project een verkapte poging om het Amerikaanse bedrijfsleven weer concurrerend te maken met Philips, Matsushita, Hitachi, etcetera? Zal het een bron van nieuwe kennis, van Nobelprijzen, worden? En – als er op die vragen een bevestigend antwoord volgt – geldt hier dan ook niet het tefalargument: dat al die doelen makkelijker en goedkoper op een directe wijze konden worden gerealiseerd?

Tien maal Apollo

Voorlopig is SDI – eveneens in tegenstelling tot wat veel mensen denken – nog betrekkelijk bescheiden naast het Apollo-programma van twintig jaar geleden. Het

Apollo-project slokte indertijd 75 miljard dollar op en legde een immens beslag op de Amerikaanse wetenschap: éénvijfde van alle Amerikaanse onderzoeksgelden in 1966, één van de Apollo-topjaren, ging naar de ruimtevaartorganisatie NASA. Het Apollo-project zelf legde beslag op 13,5% van alle R&D (onderzoek en ontwikkeling) in de VS. SDI daarentegen kost tot 1990 nog geen eens de helft van het Apollo-project (slechts 32 miljard dollar) en zal in dat jaar op ruim vijf procent van de Amerikaanse R&D-gelden aanspraak doen. Daarna moet evenwel het echte werk beginnen. Als dan de beslissing valt om inderdaad een ruimteschild te bouwen, zullen astronomische bedragen nodig zijn, die het man-op-de-maan project zullen overtreffen: de schattingen variëren van 400 tot 800 miljard dollar, van vijf- tot tienmaal Apollo.

Vanzelfsprekend hebben door het SDI-programma nu al aanzienlijke veranderingen plaats op de Amerikaanse universiteiten. Wat te denken bijvoorbeeld van het feit dat bij een toch ogenschijnlijk weinig militaire tak van wetenschap als de oceanografie dertig procent door het Pentagon wordt gefinancierd? Dit Amerikaanse defensie-ministerie geeft vandaag de dag al meer geld op Amerikaanse universiteiten uit dan de National Science Foundation.

Dat leidt o.a. tot geheimhouding, zoals ook uit het verhaal van Evangelos Kranakis in deze rubriek blijkt. Nu is de cryptologie een vakgebied met dusdanig militaire belangen dat geheimhouding daar min of meer logisch lijkt, maar ook tal van fundamentele wetenschapsgebieden die weinig militaire relevantie

hebben zullen de komende jaren in toenemende mate ondervinden dat de openheid die zo noodzakelijk is voor het bedrijven van wetenschap restricties opgelegd zal krijgen. Een paar jaar geleden werd bijvoorbeeld de toch uiterst eerzame American Vacuum Society gedwongen om uitnodigingen aan Russische collega's voor een congres over computergeheugens in te trekken.

Ook zullen er onder invloed van de SDI-investeringen technologische veranderingen plaatshebben. Een voorbeeld is de recente opmars van galliumarsenide chips in de

galliumarsenidechips. Of zo'n goede uitgangspositie ook benut wordt, is echter allesbehalve zeker: het Amerikaanse leger bestelde al in de jaren zestig de zogenoemde numeriek gecontroleerde machines bij de Amerikaanse machine-industrie. Maar hoewel de Japanners tien jaar later met de ontwikkeling begonnen, beheersen zij thans toch de markt voor deze computer-gestuurde draaibanken en freesmachines.

Omweg

Zegveld en Enzing, die hun studie met steun van het ministerie van Onderwijs en Wetenschappen hebben verricht, komen tot de conclusie dat defensiepolitiek geen substituuat kan zijn voor een industrie- en technologiebeleid. Voor veel Amerikaanse politici speelt het argument dat SDI een steun in de rug voor de Amerikaanse industrie is wel een belangrijke rol (Reagan zelf schatte de technische en economische baten van SDI veertien maal zo hoog als de kosten). Maar volgens Zegveld en Enzing (beiden bij TNO werkzaam) kan het Pentagon dan beter, net als het Japanse industrieministerie MITI, de directe wegnemen in plaats van de militaire omweg.

Spin off is en blijft een omweg, zo betogen de auteurs. Dat gold voor het Apollo-programma: slechts 16 procent van alle NASA-octrooien uit het Apollo-programma tot 1963 was van commerciële betekenis. En het zal ook voor het SDI-programma gelden: er zijn zoveel beperkingen dat lang niet alle laboratoriumvondsten tot nieuwe producten zullen leiden.

Van de snelle chips die in het kader van het VHSIC-programma (Very High Speed In-

tegrated Circuits) ontwikkeld zijn, mogen zelfs helemaal geen foto's worden afgedrukt, zo bang is het Pentagon dat de Russen ook dergelijke nieuwe chips zullen ontwikkelen. Hoe kunnen elektronische bedrijven dan ooit deze chips voor civiele toepassingen gebruiken, zo vragen Zegveld en Enzing zich terecht af.

Toch is hier een kanttekening op zijn plaats. Ik ben zelf wel eens bij een Amerikaans bedrijf geweest dat chips voor het Pentagon, in het kader van het VHSIC-programma, ontwikkelde. Onderzoekers van dat bedrijf vertelden desgevraagd dat zij toch ook voor hun civiele werk veel baat hadden bij het VHSIC-programma, juist omdat zij zo op hun tenen moesten lopen voor het Pentagon. Al worden er voor civiele toepassingen ogenschijnlijk onzinnige eisen gesteld: chips moeten bestand zijn tegen straling en de elektromagnetische puls na een kernexplosie. De onderzoekers worden daardoor gedwongen van de gebaande paden af te wijken. Dit kan altijd voor de civiele productie van belang zijn, aldus die onderzoekers.

Zegveld en Enzing lijken dit echter te betwijfelen. Zij stellen dat in tegenstelling tot vroeger de civiele industrie, althans bij de micro-elektronica, de technologische leiding heeft ten opzichte van de militaire. Dit komt mede doordat de tijd van bestelling tot levering veel groter is geworden: van vijf jaar in de Apollo-tijd tot een jaar of dertien nu.

Zelfs oceanografie wordt tegenwoordig al voor dertig procent door het Pentagon gefinancierd.

micro-elektronica. Steeds meer bedrijven passen de laatste jaren deze nieuwe chips toe in plaats van de conventionele siliciumchips. Die verandering is afgedwongen door de technologische think-tank van het Pentagon, DARPA (Defence Advanced Research Projects Agency). Zo'n koerswijziging bij de industrie gaat het Pentagon heel makkelijk af: of men maakt bekend dat de industrie kan inschrijven op een order voor zoveel miljoen galliumarsenidechips, of men schrijft aan bedrijven die in een Pentagon-project meewerken voor dat ze zich moeten concentreren op het (snellere) galliumarsenide.

Het SDI-project zal dus onmiskenbaar economische gevolgen hebben: de Amerikaanse micro-elektronische industrie heeft vanzelfsprekend een betere startpositie in

Walter Zegveld, Christien Enzing, SDI and Industrial Technology Policy: Threat or Opportunity, Frances Pinter, London, 1987.

Jan van den Ende

Het priemgetal als oorlogswapen

Evangelos (spreek uit: Evánzelos) Kranakis was cryptoloog in de Verenigde Staten. De cryptologie is de leer van het geheimschrijven, het coderen en ontcijferen van informatie. Cryptologie is een betrekkelijk jong onderdeel van de wiskunde. Deze abstracte discipline speelt tevens een rol op het strijdtoneel van de grootmachten, die hun eigen internationale communicatie willen beschermen, maar die van de ander af luisteren.

Militairen hebben altijd veel belangstelling voor cryptologie gehad. Toen de Amerikaanse militairen echter alle onderzoek op dat gebied onder hun gezag wilde plaatsen, trok Kranakis zich terug en besloot naar Nederland te komen. Kranakis is één van de exacte onderzoekers die de afgelopen jaren voor de vraag is komen te staan: wil ik voor de krijgsmacht werken?

In de polder

Ik bezoek Kranakis op zijn huidige werk, in het Centrum voor Wiskunde en Informatica in Amsterdam. Dit centrum is een onafhankelijk instituut dat zijn inkomsten hoofdzakelijk uit onderzoekscontracten van ZWO haalt. Als ik bij Kranakis binnenkom, vertelt hij me meteen enthousiast dat zijn computer hem aan onze afspraak heeft herinnerd. Hij legt uit wat cryptologie precies is. "De meest eenvoudige manier is een afspraak zoals: we nemen van een bepaald

boek de eerste letter van elke tiende regel. Je geeft aan elke letter uit deze code en uit het bericht dat je wil verzenden een getalwaarde, en die tel je bij elkaar op. Dat soort systemen is erg kwetsbaar, als de afspraak uitlekt, heeft de tegenstander de complete sleutel in handen, en dat merk je niet". In de Tweede Wereldoorlog is dat de Duitsers overkomen. De Engelsen konden, weliswaar na veel puzzelen en rekenen, de Duitse code ontcijferen (zie kader).

Evangelos Kranakis wilde niet langer meewerken aan het militaire gebruik van zijn wiskundekennis.

Kranakis: "Sinds er digitale computers zijn, is er een grote verandering opgetreden in de cryptologie. Het is mogelijk geworden om elke denkbare codeersleutel op een bericht uit te proberen. Voor het verzenden van een enkele boodschap is er een systeem dat volledig betrouwbaar is. De sleutel tot de code moet echter persoonlijk aan de ontvanger overhandigd worden, soms werden ze aan diplomaten meegegeven. Alle landen deden dat." De code die ze meekrijgen is minstens net zo lang als het bericht dat men later wil verzenden. Die code kan uit een willekeurige rij enen en nullen bestaan, op een floppydisc.

Later vertaalt men ook het bericht dat men wil verzenden in enen en nullen. Vervolgens telt men de sleutel erbij op. De ontvanger trekt de sleutel er weer vanaf en heeft het oorspronkelijke bericht terug. Zo'n code kun je maar één keer gebruiken. Gebruik je hem vaker dan kan een slimme onderschepper van de berichten de code terugvinden. Het onpraktische is dat er steeds codes in handbagage meegenomen moeten worden. Deze methode wordt dan ook alleen voor top-secret berichten gebruikt.

Inlichtingendiensten nerveus

Het coderen is van het grootste belang voor regeringen. Kranakis: "Het is bijvoorbeeld essentieel dat de boodschappen die de Amerikaanse en Sowjet-delegaties bij de lopende ontwapeningsonderhandelingen in Genève ontvangen, strikt vertrouwelijk blijven. Anders zou de onderhandelingspositie van de partijen verzwakt worden." Voor militairen is het belangrijk alle informatie geheim te houden. Voor hun communicatie worden cryptologische apparaten, speciale telefoons bijvoorbeeld, geproduceerd, die automatisch informatie coderen en decoderen. In Nederland bouwt Philips dat soort apparatuur. Het coderen gebeurt echter niet alleen door regeringen en militairen, maar ook door bedrijven in hun communicatie met buitenlandse vestigingen. Als het bijvoorbeeld gaat over onderhandelingen over aandelen of orders is het voor bedrijven desastreus als de andere partij de informatie ook in handen krijgt.

Kranakis vertelt dat rond 1978 een systeem ontwikkeld is dat zo goed als onbreekbaar

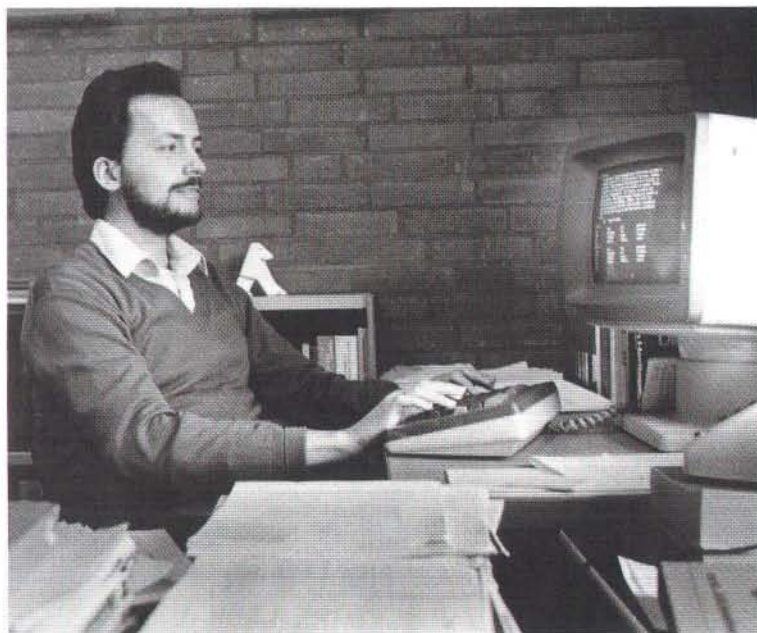
is, het RSA-systeem (zie kader). De gebruiker van dat systeem had voor het coderen en decoderen een computer nodig. Die waren te koop en zelfs voor kleine landen betaalbaar. De inlichtingendienst in de Verenigde Staten werd erg nerveus in die tijd, omdat men ook de communicatie van kleine landen niet meer kon ontcijferen. Die code is overigens onlangs door de Nederlandse professor Lenstra voor een deel ontcracht. De grootmachten zijn doende zo groot mogelijke priemgetallen met zo snel mogelijke computers te berekenen, om de code te kunnen blijven gebruiken.

deren dat het de tegenstander tenminste enkele dagen of weken zal kosten om de boodschap te ontcijferen. Dit noemt men relatieve veiligheid”.

National Security Agency

Kranakis werkte aan cryptologie aan de Yale University in New Haven (bij New York). Zijn groep had een contract van twee jaar met de National Science Foundation. Dat is de instantie in de Verenigde Staten die namens de overheid fundamenteel onderzoek financiert. Kranakis: “Er kwamen op de universiteit regel-

zoek is de NSA, de National Security Agency. Dit is in de Verenigde Staten dé autoriteit als het om coderen en ontcijferen van communicatie gaat”. De National Security Agency is een merkwaardige organisatie. Zij komt nauwelijks in de publiciteit, ondanks dat haar budget even groot is als dat van de CIA. Hoewel de naam CIA, Central Intelligence Agency, zou doen vermoeden dat deze dienst inlichtingen verzamelt, is dat veel eerder een taak van de NSA. De CIA daarentegen verzamelt informatie en organiseert geheime politieke acties in het buitenland. (De derde inlichtingendienst, de FBI, werkt



Evangelos Kranakis
en zijn computer
(Foto: George
Verberne)

Kranakis: “Omdat een RSA-computer voor bedrijven nog vrij duur is, en omdat het bij sommige vormen van communicatie alleen van belang is dat het bericht enkele dagen of weken geheim blijft, zijn er andere systemen. Die garan-

matig vertegenwoordigers van de National Security Agency op bezoek, met de vraag of er nog iets interessants voor hen was om te financieren. Een semi-militaire organisatie die vooral belangstelling had voor het cryptologie-onder-

in de Verenigde Staten zelf). Bijna alles aan de NSA is geheim, zelfs het besluit waarmee president Truman in 1948 deze dienst in het leven riep, was geheim, en is dat nog steeds. Desondanks heeft de NSA uitgebreide bevoegd-



Kranakis: "Ik wil niet degeen zijn die het militair toepast. Dat vind ik misdadig."

heden, onder andere om internationale telefoongesprekken af te luisteren. De dienst heeft onderscheppingsstations over de hele wereld. Het aantal werknemers op dit moment is niet bekend, maar in 1978 waren het er maar liefst 68000. Het was deze dienst die enkele jaren geleden alle onderzoek op het gebied van de cryptologie onder haar hoede wilde brengen, ook het onderzoek op universiteiten.

I don't care

Plotseling waren er geruchten in de groep van Kranakis dat de financier, de National Science Foundation, het onderzoek na nog één jaar zou willen stopzetten. Daarna zou men verder kunnen werken voor de NSA.

Kranakis: "In de Verenigde Staten is men meer gewend militair werk te doen dan in Nederland. Veel wetenschappers nemen het voor lief, onder het motto: 'I don't care

where the money comes from'. Het is interessant dat in dit geval echter veel onderzoekers zich ertegen verzetten dat de NSA zo openlijk de universiteit binnenkwam".

De oorzaak daarvan is volgens Kranakis dat de CIA en de NSA sinds de jaren zestig veel van hun invloed hebben verloren. De Vietnam-oorlog heeft erg veel wantrouwen onder wetenschappers in de Verenigde Staten tegenover hen gewekt. Het werd normaal om geen geld meer aan te nemen van deze organisaties. Ze doen erg hun best om binnen te komen, vooral sinds Reagan aan de macht kwam. Kranakis: "Sinds het SDI-project is gestart, probeert men ook steeds meer onderzoek daaruit te financieren. Een voorbeeld: in de theoretische computerkunde verminderden de fondsen van de National Science Foundation alleen al in 1985 met 30%. Dat wil niet zeggen dat dat onderzoek niet meer gebeurt, maar uit andere bronnen wordt gefinancierd."

Achterflap

Kranakis schetst het probleem van zijn onderzoeksgroep op Yale: je hebt je normale subsidie, maar die loopt af. De National Security Agency biedt je aan voor hen te werken. Ze garanderen je dat je vrij bent in je onderzoek en dat je alles kunt publiceren.

Kranakis: "Je kan erover twisten of dat waar is. Want wat er nu gebeurt, vooral bij de National Security Agency, is dat ze wel alles bekijken. Contractueel kunnen ze de verspreiding van een rapport niet tegenhouden. Maar bij een organisatie als de NSA is het gebruikelijk dat op de achterflap staat vermeld, aan wie je het rapport toestuurt. En ze letten erop of er toevallig iets uitzonderlijk belangrijks in staat. En laten we eerlijk zijn, de meeste onderzoekers doen geen adembemennende dingen. Als er iets belangrijks uit een onderzoek komt, zullen ze het wel classificeren, dat hebben ze al eerder gedaan. Zelfs met onderzoek dat niet eens door hen was gefinancierd. Of ze proberen het bereik van de publicatie te beperken".

Het is een merkwaardige paradox: de cryptologen doen hun uiterste best om geheimhouding te garanderen en verzetten zich tevens tegen geheimhouding daarvan.

Russen moeten ook eten

Kranakis heeft nog een punt van kritiek. De NSA wil deze projecten niet alleen financieren omdat ze voor hen van belang zijn. In zekere zin is alle kennis voor hen van belang, zelfs van de graanproductie. De Russen moeten tenslotte ook eten, dus voor hen is ook graanproductie militair.

Maar aan het eind van de jaren zeventig was er veel verzet bij onderzoekers in de Verenigde Staten tegen het feit dat onderzoek aan banden werd gelegd door de National Science Foundation. Ze brachten die kritiek ook naar voren, in tijdschriften en kranten. Om die kritiek te verminderen, zei de regering: laat de militairen erin stappen en het onderzoek direct financieren. Dan gebeurt er niets meer dat als illegaal kan worden gezien, want onderzoekers zullen toch wel inzien dat militairen gereserveerd staan tegenover openbaarheid van onderzoeksresultaten.

Kranakis: "Plus dat elke onderzoeker die voor militairen werkt gedwongen wordt bij het aanvragen van geld te omschrijven wat het doel is van

het onderzoek, en welke toepassingen hij verwacht dat het zal hebben. Dat levert de militaire instanties een waardevol overzicht op van wat onderzoekers doen en hoe ze het zouden kunnen gebruiken". "Ik was in die tijd nog een beginnende in dit vak, ik wilde niet te veel discussie. Ik was in die tijd met een boek bezig dat wilde ik graag afmaken. Ik was afhankelijk van dit geld, ik had er nog niet over gedacht ander werk te zoeken. Dus heb ik nog een jaar doorgewerkt met geld van de NSA". Toen zijn boek af was, solliciteerde Kranakis in Nederland. Iemand van de Universiteit van Amsterdam had hem verteld dat hier wel mogelijkheden waren. "Ik wil geen held zijn omdat ik naar Nederland ben geko-

men. Die stap was voor mij minder groot dan Nederlanders geneigd zijn te denken. Nederlanders zijn erg aan één plaats gebonden. In de Verenigde Staten is het vrij gebruikelijk om regelmatig, zo eens in de drie, vier jaar, van werk- en woonplaats te veranderen. Zijn vrouw, die ook aan Yale University werkte, nam een zogeheten 'sabbatical year', een jaar vrijaf voor onderzoek, en heeft inmiddels ook in Nederland werk gevonden.

Wiskundig interessant

Waarom is Kranakis in de cryptologie gaan werken, als hij er bezwaar tegen heeft militair werk te doen? "Toen ik afstudeerde wilde ik

Een mooi voorbeeld van het gebruik van wiskunde in het geheimschrijven is de RSA-methode, genoemd naar de uitvinders Rivest, Shamir en Adleman. De ontvanger van de informatie krijgt twee nummers E en N toegewezen. De ontvanger krijgt daarnaast echter nog een geheim nummer D . Bij het bepalen van die getallen spelen twee ongeveer even grote priemgetallen p en q een rol. Een priemgetal kan alleen door zichzelf en door 1 worden gedeeld: 7 is een priemgetal maar 21 niet. Het produkt van die twee priemgetallen is N . Nadat E , N en D zijn vastgesteld, doen de twee priemgetallen niet meer ter zake, die kunnen worden vernietigd. Alleen de ontvanger van de boodschappen (die via een code in getallen worden omgezet) bewaart D , dus de kans dat

de code uitlekt zonder dat de ontvanger dat merkt, is erg klein. Om te coderen en te decoderen gebruikt zowel de zender als de ontvanger een computer. De verzender voert daarvoor de getallen E en N in, de ontvanger het getal D .

De priem- getallen wedloop

De enige manier voor een tegenstander om het getal D te vinden, is het terugzoeken van de getallen p en q . Dat zijn dus twee priemgetallen waarvan het produkt N is. Het zoeken van twee priemgetallen bij zo'n getal N noemt men ontbinden. Bij een klein getal N is het gemakkelijk. Maar bij een

hele grote N heeft men hele grote priemgetallen nodig, dat kost veel computertijd. Er is daardoor een strijd tussen de grootmachten gaande om zo groot mogelijke priemgetallen te berekenen, zodat de ander de eigen RSA-code niet kan breken.

Tot 1985 kon men getallen ontbinden tot 80 cijfers. Het blijkt dat als er één cijfer aan wordt toegevoegd, de rekentijd verdubbelt. De Nederlandse hoogleraar Lenstra bedacht onlangs een nieuwe methode voor het ontbinden in factoren, een methode die veel minder computertijd vergt. De nieuwe methode betekende een sprong vooruit en kan op den duur de bruikbaarheid van de RSA-methode aantasten. Nù werken de grootmachten dan ook met priemgetallen van maar liefst 220 cijfers.

Britse cryptologen

In de Tweede Wereldoorlog vestigden de Britten in Bletchley Park, zo'n 80 kilometer ten noorden van Londen, in een landhuis een decodeercentrum. Dit centrum bestaat nog steeds en heeft nu maar liefst 7000 werknemers. Het is gespecialiseerd in het af luisteren van internationale communicatie, een Britse versie van de Amerikaanse NSA.

In de Tweede Wereldoorlog gebruikten de Duitsers voor hun geheime boodschappen een machine, de Enigma (raadsel). Dit was een soort typemachine met diverse koppen waarvan de standen ten opzichte van elkaar konden verschillen. De ingetypede letters werden in een code omgezet. De ontvanger kon met een zelfde soort machine, bij de juiste instelling van de koppen, de boodschap weer decoderen.

De Polen hadden al voor de oorlog een paar van die machines weten te bemachtigen en een

exemplaar aan de Britten overhandigd. Op elk onderschept bericht probeerden zij nu alle mogelijke Enigma-codes uit om te zien welke een zinnige tekst opleverde. Dit werk werd aanvankelijk merendeels door vrouwen met de hand gedaan. Op een gegeven moment had men hiervoor honderden vrouwen in dienst. De organisatie en het denkwerk gebeurde door wetkundigen en taalkundigen.

Een gerenommeerde wetkundige die de oorlogsjaren in Bletchley Park doorbracht, was Alan Turing. Hij ontwikkelde een machine voor het decoderen van het Duitse geheimschrift. Die machine had veel weg van de latere computer. Turing wordt altijd omschreven als een merkwaardig man. Hij zag er altijd slordig uit, was homoseksueel en leefde teruggetrokken. In Groot-Brittannië werd homofilie



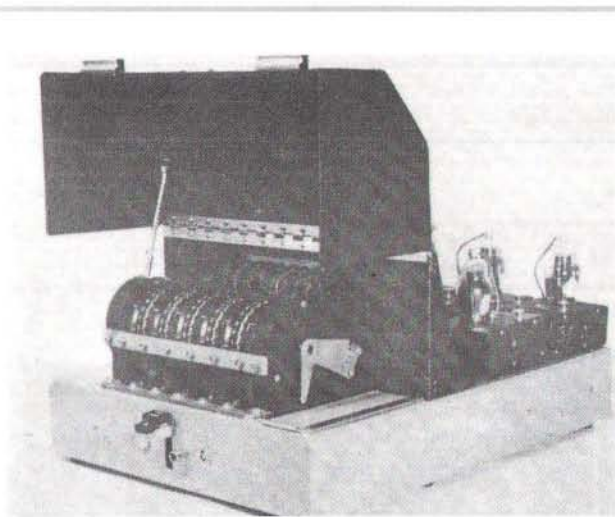
in de computerkunde werken. Ik kreeg daarvoor een aanbod van Yale University onder voorwaarde dat ik op dit gebied zou willen werken. Wetkundig gezien is cryptologie ontzettend interessant. Er zit iets nuttigs in cryptologie, iedereen wil dingen geheim houden. De cryptologie kan gebruikt worden om veilige systemen voor credit cards te maken, en in de toekomst voor elektronische paspoorten, om te zorgen dat een

douane-ambtenaar alleen de gegevens krijgt die van belang zijn en niet meer dan dat. Het gaat om het garanderen van privacy in openbare communicatie".

Kranakis werkt nu niet meer aan cryptologie, maar hij doet onderzoek aan computernetwerken, technieken om computers onderling te laten communiceren.

Kranakis: "Ook dit heeft militaire toepassingen, in Frankrijk bijv. bouwt men compu-

ternetwerken met mobiele posten voor communicatie van militairen. Ik weet dat alles wat je doet militair gebruikt kan worden. Bij de National Security Agency hebben ze mijn boek met belangstelling gelezen. Dat weet ik, maar ik wil er niet bewust aan meewerken, ik wil niet degene zijn die het militair toepast. Dat vind ik misdadig. En je moet zeker weten dat het werk dat je doet op een goede manier gebruikt kan worden".



Links: Alan Turing had in zijn tijd ook enige faam als lange-afstandloper.

Boven: Een door Turing ontworpen decodeermachine (Foto: Public Record Office).

als misdaad beschouwd, en in 1954 werd Turing om die reden veroordeeld tot een chemische 'therapie'. Kort daarna pleegde hij zelfmoord. Zijn biograaf Andrew Hodges twijfelt er echter aan of er geen sprake was van moord door een veiligheidsdienst: een homoseksueel met veel geheime informatie is in de ogen van sommigen gemakkelijk te chanteren.

Nederland

In hoeverre komen zulke dingen ook in Nederland voor? David Chaum, een collega van Kranakis aan het Amsterdamse instituut, komt net als hij uit de Verenigde Staten. Ook hij maakte zich zorgen over militair gebruik van de cryptologie. Chaum: "We houden maandelijks een bijeenkomst voor cryptologen uit heel Nederland. Er komen meestal zo'n 15 tot 25

mensen. Drie tot zes van hen zijn militairen, van de Militaire Academie". Hij geeft me een foldertje voor een cryptologencongres. In de organisatie zitten ook Philips en de PTT. Op de vraag wat hij vindt van de militaire belangstelling voor zijn vak: "Ik weet niet precies wat de rol van militairen is op dit gebied of wat die zou moeten zijn. In de groepsbijeenkomsten zijn wij het die doorgaans praten, en zij luisteren.

NATUUR en TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau B.V. te Maastricht.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland:

Postbus 415, 6200 AK Maastricht.

Telefoon: 043-254044*.

Voor België:

Tervurenlaan 32, 1040-Brussel.

Telefoon: 00-3143254044.

Bezoekadres:

Stokstraat 24, Maastricht.

Advertenties:

R. van Eck: tel. 043-254044.

De Centrale Uitgeverij is ook uitgever van de Cahiers van de Stichting Bio-Wetenschappen en Maatschappij.

Abonnees op Natuur en Techniek of studenten kunnen zich abonneren op deze cahiers (4 x per jaar) voor de gereduceerde prijs van f 25,- of 485 F.

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto):

Voor Nederland, resp. België:

f 99,50 of 1925 F.

Prijs voor studenten: f 77,50 of 1475 F.

Overige landen: + f 35,- extra porto (zeepost) of + f 45,- tot f 120,- (luchtpost).

Losse nummers: f 9,25 of 175 F (excl. verzendkosten).

Abonnementen op NATUUR en TECHNIEK kunnen ingaan per 1 januari of per 1 juli, (eventueel met terugwerkende kracht) doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar.

Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang. TUSSENTIJDEN kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Postrekeningen:

Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v.

Natuur en Techniek te Maastricht.

Voor België: nr. 000-0157074-31

t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

Bankrelaties:

Voor Nederland: AMRO-Bank N.V. te

Heerlen, nr. 44.82.00.015.

Voor België: Kredietbank Brussel,

nr. 437.6140651-07.

ACTUEEL

Nieuws uit wetenschap, technologie en samenleving
natuur en techniek

Pil tegen dronkenschap

Het Zwitserse farmaceutische concern Hoffmann-La Roche heeft een stof ontwikkeld die mogelijkheden biedt als pil tegen dronkenschap. Aldus meldde eind vorig jaar het Amerikaanse blad *Science*.

De stof, Ro15-4513, behoort tot een groep verbindingen die bekend staan als *benzodiazepinen*, waartoe ook de pijnstillers valium en librium behoren. Uit biochemisch onderzoek is gebleken dat benzodiazepinen in de hersenen binden aan bepaalde receptoren en via deze binding hun werking uitoefenen.

De receptoren waaraan benzodiazepinen koppelen maken deel uit van een groter complex van receptoren waaraan barbituraten en GABA hechten. GABA, de engelse afkorting van gamma-aminoboterzuur is een natuurlijke stof die in de hersenen voorkomt en een remmende invloed uitoefent op de hersenfunctie. Men vermoedt dat alcohol zijn verdovende werking op het lichaam uitoefent doordat het zich aan GABA-receptoren in de hersenen hecht.

Vanwege de relatie tussen benzodiazepinen, barbituraten en alcohol, ging men bij Hoffman-La Roche verschillende derivaten van benzodiazepinen testen op hun invloed op ratten die men eerst dronken had gemaakt met alcohol. Men stuitte toen op het Ro15-4513 en merkte dat deze stof het effect van alcohol op de ratten teniet doet. De beesten werden na toediening van Ro15-4513 weer nuchter! Dit bleek echter alleen te lukken als de ratten lichtelijk dronken wa-

ren. Waren ze bij wijze van spreken flink zat, dan werden ze door Ro15-4513 niet meer nuchter.

Op dit punt gekomen begon men bij Hoffmann-La Roche wat minder enthousiast te worden. Een anti-dronkenschap pil die alleen de invloed van alcohol op de hersenfunctie verlaagt, brengt allerlei problemen met zich mee. Alcohol werkt namelijk niet alleen in op de hersenen, maar oefent ook een kwalijke invloed uit op andere plaatsen in het lichaam. Bekend is de schade aan de lever. Daarnaast kan alcohol ook in het algemeen de membranen van cellen in het lichaam aantasten. De anti-dronkenschap pil zou dit effect verdoezelen. Men zou dus denken niet dronken te zijn, terwijl men toch een alcoholvergiftiging zou kunnen oplopen.

Daarnaast zouden er ook problemen van juridische aard kunnen ontstaan. Een automobilist die zou worden aangehouden door de politie en bij wie een te hoog promillage alcohol in het bloed zou worden aangetoond, zou kunnen zeggen dat hij de anti-dronkenschap pil had ingenomen en dus feitelijk nuchter was. Men zou hem dus niet wegens rijden onder invloed mogen bekeuren. Wat gebeurt er eigenlijk precies wanneer alcoholmolekulen binden aan de GABA-receptor in de hersenen? Geringe hoeveelheden alcohol blijken de opname van chloride-ionen in de synaptische cellen te stimuleren. Bij concentraties van 5 à 10 millimol/l alcohol in het bloed – dit komt overeen met twee borrels – is men doorgaans alleen tipsy, nog niet echt dronken. Bij die concentratie verhoogt alcohol het vermogen van GABA om de chloride-opname te vergroten. Hier-

door ontstaat een prettig gevoel – men is relaxed, de spanningen vallen weg. Dit aangename, rustgevend gevoel is de reden waarom zoveel mensen alcohol gebruiken.

Bij Hoffmann-La Roche twijfelt men echter, zoals gezegd, of men Ro15-4513 wel in de handel moet brengen. Alcoholici zullen er niet door van hun verslaving afgeholpen worden. Ze zullen wellicht juist meer gaan drinken omdat ze na inname van de pil de schadelijke effecten hiervan niet rechtstreeks zullen merken. Aan de andere kant kan Ro15-4513 bij goed gebruik voor sommige drinkers toch wel nut hebben, bijvoorbeeld wanneer iemand na teveel gefuifd te hebben toch graag nuchter naar huis wil rijden. Mits hij dan wel beseft dat hij zijn lever hiermee geen dienst bewijst!

Dr M. Sluysers

Nederlands Kanker Instituut
Amsterdam

Afrikaantje maakt bestrijdingsmiddel

Celcultures van de plant *Tagetes* – beter bekend als afrikaantje – zijn in staat efficiënt bestrijdingsmiddelen aan te maken en uit te scheiden. Deze stoffen behoren tot de groep van de thiofenen waarvan er een aantal veelbelovend zijn als middel tegen aaltjes en schimmels. Thiofenen zijn afbreekbaar onder invloed van licht en blijven dus niet in het milieu achter. Infectie met een *Agrobacterium* – een bacterie die erfelijk materiaal op een plant kan overbrengen – blijkt de celkweek van afrikaantjes aan te

zetten tot een wortelcultuur die goede perspectieven biedt voor continue thiofeenproductie.

Dit is het resultaat van onderzoek door dr D.H. Ketel, die op 8 april promoveerde aan de Landbouwuniversiteit Wageningen. David Ketel is sinds 1980 verbonden aan het Ital, een biotechnologisch instituut te Wageningen. Planten kunnen de meest uiteenlopende chemische verbindingen maken die soms ook commercieel interessant zijn. De plantebiotechnologie spant zich de laatste jaren in om die stoffen direct door celcultures aan te laten maken, dus niet af te wachten tot een plant op het veld of in de kas opgegroeid is om daarna de gezochte stof uit het gewas te winnen. Celkweek in een reactor, uitgaande van een stukje volwassen plant, zou in principe die omslachtige weg kunnen kortsluiten.

Het probleem is dat een bioreactor niet de natuurlijke omgeving voor een plantecel is, verre van dat. Het is dus niet eenvoudig een verzameling cellen te laten doen wat voor een intacte plant vanzelfsprekend is, namelijk allerlei verbindingen synthetiseren. Zo'n stof is in de regel een van de eindproducten in het stofwisselingsproces van de plant.

Het celkweekonderzoek van dr Ketel draaide in feite om de vraag of de plantecel biochemisch tot voldoende specialisatie, in dit geval hoge produktie van thiofeenen, in staat is en toch qua vorm hanteerbaar blijft. Anders gezegd: de biochemische differentiatie moet ontkoppeld worden van de morfologische differentiatie. Procestecnisch gaat het erom grote volumes homogene celcultures tot een constante aanmaak en uitscheiding van de gewenste stof te krijgen.

Ketel onderzocht ook de mogelijkheid van genetische transformatie met behulp van *Agrobacterium tumefaciens*. Deze bacterie is in staat erfelijk materiaal in de plantecel in te bouwen. Eén van de resultaten was een cultuur die volledig uit wortelweefsel bestaat

en veelbelovend is voor de stabiele produktie van thiofeenen.

Afrikaantjes beschermen andere gewassen in hun buurt tegen schadelijke organismen. Dat is algemeen bekend. Peentjes worden erdoor gevrijwaard van de wortelvlieg. In de jaren 50 werd uit de wortels van afrikaantjes de daarvoor verantwoordelijke chemische verbinding geïsoleerd. Al snel rezen problemen bij de toepassing van deze stof als bestrijdingsmiddel. Het synthetiseren van de stof in het laboratorium was in die tijd evenmin een aantrekkelijk perspectief.

Eén variant van de thiofeengroep, kortweg aangeduid als BBTOH, maakt de meeste kans in de gewasbescherming, omdat hij als één van de weinige thiofeenen prima in water oplost – een belangrijke voorwaarde om in de praktijk hanteerbaar te zijn. BBTOH is actief tegen aaltjes en waarschijnlijk ook tegen bepaalde schimmels en insecten. Aaltjes zijn nematoden (zie N&T, no. 1 1987) die wortels binnendringen

en de plant uitputten. Aardappelmoeheid is een voorbeeld, maar ook in veel andere teelten vormen aaltjes een gevaar. Kaapse viooltjes, die door aaltjes zijn aange-tast, lijken een goede testplant te zijn om de werking van BBTOH nader te onderzoeken.

Over de hele wereld gezien worden momenteel drie plantaardige stoffen commercieel uit celkweek gewonnen: shikonine (kleurstof, werkt ook tegen ontstekingen), berbine (voor oogdruppels) en ginseng (diverse medische toepassingen). Als zich voor thiofeenen een markt ontwikkelt, zal ook deze groep van stoffen kandidaat zijn om op industriële schaal uit plantecellen te winnen.

De vraag of de biotechnologische produktie van thiofeenen ook werkelijk ter hand zal worden genomen, kan pas beantwoord worden na gedegen toetsing in de praktijk en op basis van een economische haalbaarheidsstudie.

(persbericht Landbouwuniversiteit Wageningen)

Wandelende steen

"Tijdens één van mijn reizen naar Griekenland maakte ik enkele jaren geleden bijgaande foto van de verschuiving van zuilsegmenten van een tempelzuil. Men vraagt zich ongetwijfeld af, hoe deze verschuivingen ontstaan. In een Nederlandse encyclopedie van recente verschijningsdatum staat een aardbeving als oorzaak vermeld."

Dit schreef ons prof dr ir W.M.J. Schlösser in een brief die eindigt in een vraag die wij hierbij doorgeven aan de lezers van Natuur & Techniek. Met het verzoek om reacties. Schlösser vervolgt: "Deze verklaring acht ik echter niet aannemelijk. Ik acht het eerder aannemelijk dat de gehele zuil door een beving omvalt. Naar mijn mening moet de verklaring



Een verschoven zuilsegment: plotsetting of geleidelijk proces?

gezocht worden in het overdag opwarmen en 's nachts weer afkoelen van de zuil in de hete Griekse zon. Analooog aan de pennen in onze deurscharnieren, treedt er dan een verplaatsing van het ene segment ten opzichte van het andere op. De niet-symmetrische wrijving van de scharnieren verplaatst de pen eenzijdig uit het scharnier, door het herhaald openen en sluiten van de deur. Bij de zuilen is het denkbaar dat er analooog een niet-symmetrische wrijving werkzaam is, die bij herhaald uitzetten en krimpen door temperatuurwisselingen van het segmentmateriaal een onderlinge verplaatsing van de segmenten veroorzaakt. Voor een relatieve verplaatsing van 15 centimeter over een periode van 2000 jaren

zou een relatieve verplaatsing van 0,2 micrometer per dag het op de foto waarneembare effect hebben. Ik heb geen systematiek in de verplaatsingsrichting van de segmenten kunnen waarnemen, ofschoon het niet uitgesloten is dat een statistische verwerking van waargenomen verplaatsingen voorkeursrichtingen ten opzichte van de zon zouden kunnen opleveren. Anderzijds zal ook de structuur van het materiaal in de contactvlakken van de segmenten op de verplaatsingsrichting van invloed kunnen zijn."

Wanneer U documentatie, berekeningen of een mening heeft over de wandelende steen houden we ons aanbevolen voor uw reactie, die we dan aan prof. Schlöser zullen doorgeven.



Deze watervlo is groen omdat het zwart-witnegatief waarop hij afgebeeld was is geprint op kleurenpapier. Deskundigen op de redactie missen de antennes op zijn kop en vermoeden dat ze bij het prepareren gesneuveld zijn.

Het is een microscoopopname volgens het donkerveld transmissie-principe, aldus de inzender van deze winnende foto van de maand: Wim Verrijp uit Nootdorp.

Kritische lezers vragen zich misschien af waar de techniek is op deze foto. Dat wist de jury ook niet, maar ze bewonderde deze technisch mooie opname.

Zeegrassvelden als voedselbron

Zeegrassvelden produceren gedurende het gehele jaar een grote hoeveelheid blad. Veel verschillende dieren leven ervan. Vooral voor ontwikkelingslanden – zeegrassen groeien veel in tropische en subtropische zeeën – kunnen ze daarom van levensbelang zijn: de visserij kan staan of vallen met het voortbestaan van die velden. De Nijmeegse biologen Francien Heijs en Joop Brouns deden drie jaar onderwateronderzoek in de zeegrassvelden van de Stille Oceaan bij Papua-Nieuw-Guinea. Dat ligt vlakbij Australië. Onlangs zijn ze gepromoveerd op een gezamenlijk proefschrift over dit werk. De twee onderzoekers onderzochten diverse typen velden en ontdekten onder meer dat de biologische produktie van die velden enorm en continu is. De planten groeien het gehele jaar met ongeveer dezelfde snelheid. De velden blijken bovendien de basis te vormen van talloze organismen, waaronder veel algen. De bijdrage van deze minuscule plantjes aan de totale biologische

produktie kan oplopen tot 50 procent. Dr Joop Brouns: "Het belang van de zeegrassen is lang onderschat. Pas de laatste tien tot vijftien jaar heeft de interesse voor deze soorten enig niveau bereikt. In diverse landen wordt nu onderzoek gedaan aan zeegrassen."

Het Nijmeegse Laboratorium voor Aquatische Oecologie is één van de belangrijke centra voor dit onderzoek. Prof dr C. den Hartog, hoofd van dit laboratorium, is een internationale autoriteit. Hij is onder meer hoofdredakteur van het tijdschrift Aquatic Botany. Onder zijn leiding hebben Francien Heijs en Joop Brouns – die samenwerken sinds het eerste jaar van hun biologiëstudie – het zeegrassenonderzoek uitgevoerd. Het is een goed voorbeeld van zuiver-wetenschappelijk onderzoek dat ook praktische betekenis heeft. De beide Nijmeegse biologen keken vooral naar de structuur en functie van zeegrassvelden. Ze hebben soortensamenstelling, groeisnelheid

Nieuwe inzendingen zijn welkom, U kunt ze richten aan:

Natuur & Techniek

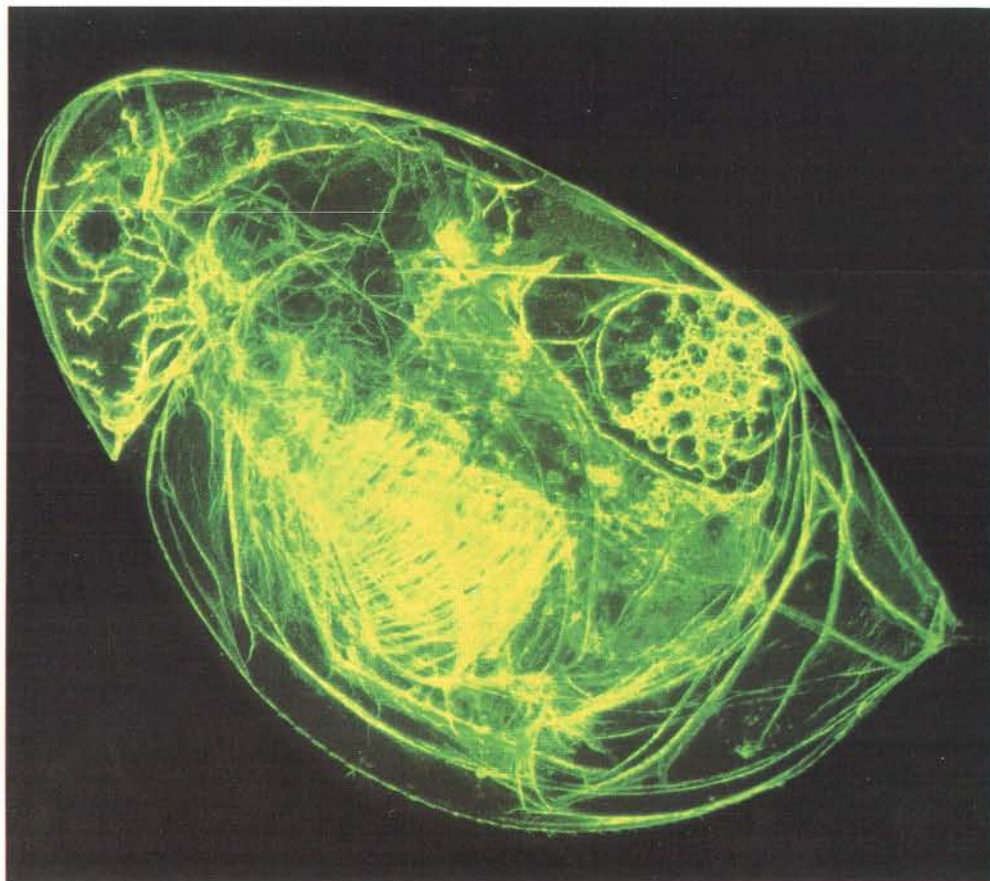
Foto van de Maand

Postbus 415

6200 AK Maastricht

en biomassavorming bestudeerd, en daardoor een bijdrage geleverd aan de wetenschappelijke kennis van deze relatief onbekende soorten. De groeiende belangstelling voor zeegrassen hangt echter sterk samen met de economische betekenis van deze velden. Ze zijn van vitaal belang voor allerlei soorten vis. Die begrazen niet alleen de bladeren, maar ook de enorme hoeveelheid algen op die planten. Diverse soorten vis zijn daardoor sterk afhankelijk van het voortbestaan van de zeegrassvelden.

Joop Brouns: "We kregen in Papua Nieuw Guinea erg veel medewerking van de plaatselijke au-



toriteiten. Dat komt niet alleen omdat die mensen erg aardig zijn, maar ook omdat men de economische betekenis van die velden zeer goed onderkent. De lokale vissers zijn enorm gebaat bij het voortbestaan van die velden en ook voor de kustbescherming zijn ze van belang. Wanneer de zee-grasvelden verdwijnen, krijgt men doorgaans te maken met forse kustafslag en erosie."

Zee-grasvelden worden vooral bedreigd door industriële vervuiling, baggeractiviteiten (bijvoorbeeld bij havens) en het toerisme. Vissers, duikers en recreanten kunnen erg veel schade berokkenen aan de zee-grasvelden.

De resultaten van het omvangrijke onderzoek van Francien Heijs en Joop Brouns zijn gepubliceerd in een aantal wetenschappelijke artikelen en in een proefschrift van 432 bladzijden waarop ze inmiddels gepromoveerd zijn. Door het ontbreken van voldoende financiën zullen ze hun werk niet kunnen voortzetten. Francien Heijs heeft inmiddels een baan bij Organon, Joop Brouns wordt (tijdelijk) medewerker bij het Rijksinstituut voor Natuurbeheer. Hij gaat de invloed van vervuiling op de Nederlandse kustvegetaties onderzoeken.

Dr Jaap Willems

Rectificatie

Rood-groen-kleurenblind bent u niet als u het getal 45 niet ontwaarde in het stippenpatroon op blz. 355 van het aprilnummer van *Natuur & Techniek*. Het testpatroon is zo ontworpen dat juist de rood-groen-kleurenblinden er het getal 45 in zien. Anderen zien alleen maar stippen.

In het bijchrift had in de laatste zin het woordje 'niet' niet moeten staan. Onze excuses voor de fout en dank voor de vele reacties.

De redactie

Uitslag april

De vellen-, noten- en balkenopgave uit het aprilnummer leverde zeer uiteenlopende oplossingen op. De heer van Immerseel stuurde een driedimensionaal model waarin met pitriet, amandelen, houtblokjes en een plaatje finer het universum van vellen, noten en balken is opgebouwd. Ter redactie hebben we de pitrietstengeltjes tussen de drie amandelen weggeknipt om zijn 3D-oplossing kloppend te maken. Zijn meegeleverde schriftelijke oplossing leverde overigens wel 6 punten op. Sommige inzenders kozen voor een geheel getekende oplossing, anderen leverden strikt wiskundig-formele taal. Iedere inzender kwam natuurlijk met de drie gegeven balken en de drie makkelijk daarbij te maken noten op de proppen. Het aantal vellen leverde meer problemen: één vel was echt genoeg. Sommigen formuleerden negen vellen en bewezen dan dat één, twee of drie ervan bij alledrie de balken passen, zonder te reconstrueren dat die negen vellen identiek zijn. Oplossingen met negen vellen zijn uiteraard goedgerekend als maar was aangehouden dat één vel bij ieder van de balken past.

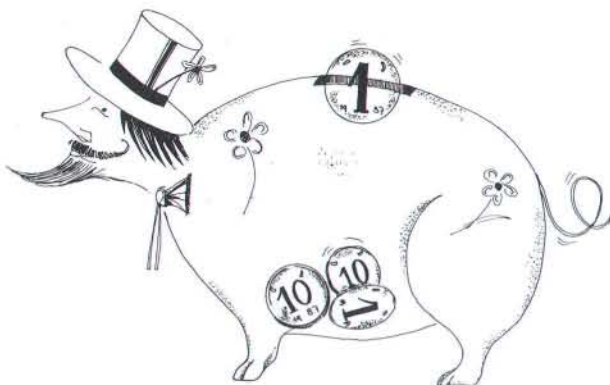
Deze opgave had overigens een zeer triviale parallel in de wiskunde. Een aantal inzenders wees daar op. Voor de uitleg hiervan gebruik ik de tekst van P.H. van Gemert:

Associeer de noten, balken en vellen respectievelijk met punten, (rechte) lijnen en (platte) vlakken in de euclidische driedimensionale ruimte. De betekenis van 'passen bij elkaar' wordt nu:

(v, b): lijn b is gelegen in vlak v;
(v, n): punt n is gelegen in vlak v;
(b, n): punt n is gelegen op lijn b;
(b_i, b_j): de lijnen b_i en b_j hebben tenminste één punt gemeen.

De axioma's kunnen nu vertaald worden.

I Als een punt gelegen is op een lijn, en die lijn gelegen is in



een vlak, dan is dat punt gelegen in dat vlak.

II Als een lijn twee verschillende punten gemeen heeft met een vlak, dan is die lijn gelegen in dat vlak.

III Onder dit model is dit axioma een triviale bewering, d.w.z. valt samen met de interpretatie van (b_i, b_j).

IV Bij elke lijn en elk punt is er een vlak dat beide bevat.

De stelling luidt nu: bij elk drietal elkaar paarsgewijs snijdende lijnen die niet alle door één punt gaan, bestaat een vlak dat alle drie gegeven lijnen bevat.

Aldus Van Gemert. Zo geformuleerd is de 'juistheid' van de stelling makkelijk in te zien. Ook zal duidelijk zijn, voor de mensen die negen vellen definieerden, dat die vellen allemaal samenvallen.

Boven aan de ladder verscheen, na deze aprilronde, Stefan Masure uit Boechout (B). Hij wint een gratis jaarabonnement op Natuur & Techniek. De goede inzenders kregen 6 punten bijgeschreven op hun conto. Na loting gaat de maandprijs, een boek uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur & Techniek, naar Vincent Vercruysse in Wetteren (B).

Nieuwe opgave

Nicolaas ontvangt op zijn verjaardag, die op een zaterdag valt, een doorzichtige spaarpot, waarin een vrijgevig familielid een

dubbeltje heeft gedaan. In die tijd bestonden er nog munten van 1 cent als betaalmiddel. Op de volgende zaterdag krijgt Nicolaas er in zijn spaarpot 12 cent bij, op de daaropvolgende 14 cent, enz. (iedere zaterdag 2 cent meer dan de voorafgaande). Op zekere zaterdag, nadat de spaarpot is bijgevuld, ontdekt Nicolaas, die het systeem van de schenkingen doorheeft, dat in zijn spaarpot zich een geldbedrag bevindt, dat in centen uitgedrukt een kwadraat is, en – gevorderd als hij is in het rekenen – ontdekt hij ook, dat het de laatste keer is dat dit voorkomt.

Hoeveel weken na zijn verjaardag deed Nicolaas de bewuste ontdekking?

Voor Nederlandse lezers wordt een cent al wat onwennig; er gaan tien centen in een dubbeltje. Door de cent verder als teleenheid te nemen zal deze opgave van de organisatoren van de wiskundeolympiade ook door Belgische lezers op te lossen zijn.

Oplossingen moeten uiterlijk 1 juli op de redactie zijn.

Adres:

Natuur & Techniek

Prijsvraag

Postbus 415

6200 AK Maastricht

Vermelding van leesbare en volledige naam en adres op de envelop stellen we op hoge prijs.

VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK

Hubble

Als de Space Shuttles weer vliegen zal de Hubble Space Telescope één van de eerste ladingen zijn. Dank zij het feit dat deze zijn waarnemingen buiten de dampkring gaat doen, zal hij veel zwakkere objecten waarnemen dan vanaf onze moederplaneet mogelijk is. Drs G. Kiers over een droom van astronomen.



Fotonica

Lasers, glasvezels en optische computers: waar fotonen de plaats van elektronen innemen, ligt het werkgebied van de beoefenaars van de fotonica. Eén van hen, prof dr P. Meyrueis, geeft een overzicht van dit betrekkelijk nieuw vakgebied, dat van bijzondere betekenis is voor de automatisering en de telecommunicatie.

Lac d'Arsine

Dit is de naam van een gletsjermeer in de Franse Alpen dat, doordat het steeds groter werd, een bedreiging vormde voor de dorpen in het dal eronder.

der. J.M.U. Keyser beschrijft de oorzaken en de gekozen oplossing: het aanleggen van een afvoerkanaal om overtollig water af te voeren.



Orchideeën

Orchideeën trekken ongelooflijk veel belangstelling en niet ten onrechte, deze planten vallen op door hun bijzondere vorm en hun niet minder bijzondere

leefwijze. Drs H.P.M. Hillegers gaat in op de eigenschappen van deze planten, die ecologisch als superspecialisten beschouwd kunnen worden.

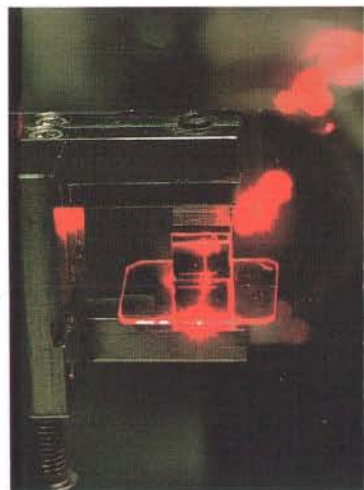


Houtbijen

Iedereen kent bijen als de sociale insecten bij uitstek. Toch bestaan er ook vormen die solitair leven of hooguit met een paar soortgenoten een nest delen. Dr H.H.W. Velthuis bestudeert het gedrag van houtbijen en tracht aan de hand van zijn waarnemingen de evolutie van het sociale gedrag bij bijen uit de doeken te doen.

Feromonen

Veel insecten scheiden stoffen af waarmee ze soortgenoten aantrekken of waarschuwen. Ze worden feromonen genoemd en dienen bijvoorbeeld om partners voor de paring te lokken. Dr ir N. De Kimpe leidt ons in in de resultaten van het onderzoek naar de aard en werking van deze stoffen en de mogelijke toepassingen.



**Wacht
met
andijvie
zeggen
als
iemand
om
a- a- a-
appelmoes
vraagt.**

Stotteraars weten heus wel wat ze zeggen willen, dus in de rede vallen helpt niet. Geef ze liever even de tijd om uit hun woorden te komen. Dat vermindert al gauw de spanning. Zo komt een gesprek vlotter op gang en gaan we

elkaar ook een beetje beter begrijpen. Doen we dat?

Informatie voor mensen met stotterproblemen bij zichzelf, in hun gezin of naaste omgeving: 01808 - 15 31 of SVS, Postbus 119, 3500 AC Utrecht.

Geef stotteraars even de tijd.